DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 25. Oktober 1940 | Heft 43

Über den Begriff „Austauschenergie" in der Quantenmechanik.

Von S. Flügge, Berlin-Dahlem.

In der Physik der Atome und Moleküle spielt der Begriff der „Austauschenergie" und die vom Austausch herrührende Aufspaltung von Energieniveaus eine beträchtliche Rolle. Jeder Experimentalphysiker, der auf dem Gebiet gearbeitet hat, weiß, welche außerordentliche Wichtigkeit dieser Erscheinung zukommt. Sie zeigt sich im spektroskopischen Verhalten der einfachsten Spektren mit 2 Elektronen, etwa des neutralen He-Atoms und des H_2-Moleküls; sie tritt auf bei den komplizierteren Fragestellungen der Bewegung der Metallelektronen im Innern des Metalls und bildet die Grundlage für das Verständnis der Eigenschaften von Leitern und Isolatoren; sie ist verantwortlich für die so wichtige Erscheinung des Ferromagnetismus und gibt endlich die physikalische Erklärung für das Zustandekommen der homöopolaren chemischen Bindung und des Valenzbegriffs. Da der Begriff der Austauschenergie trotz seiner Wichtigkeit nicht leicht und nur in beschränktem Umfange anschaulich zu verstehen ist, schien es mir gerechtfertigt, einem Wunsche der Redaktion folgend, ein im wesentlichen lehrhaftes Referat hierüber zu geben. Ich bin mir dessen bewußt, den theoretischen Fachgenossen mit meinen Ausführungen nichts Neues zu sagen, glaube aber, den experimentell arbeitenden Kollegen eine gewisse Hilfe dadurch zu geben, daß ich im nachstehenden möglichst weitgehend versucht habe, den Begriff der Austauschenergie in Analogie zu bekannten und einfachen Erscheinungen aus der klassischen Mechanik zu setzen. Da es hierbei nur auf das Verständnis des Grundsätzlichen ankommt, wurde sowohl von komplizierteren Fragen (z. B. den Erscheinungen bei mehr als 2 Teilchen) als auch von allen Anwendungen auf die obenerwähnten konkreten Fälle abgesehen.

Am Beispiel zweier *gekoppelter Pendel* machen wir uns leicht klar, daß die klassische Mechanik bereits die Aufspaltung einer einheitlichen Frequenz in zwei verschiedene infolge der Kopplung kennt. Wir können die Bewegung zweier gleicher Pendel mit der Eigenfrequenz ω_0, die durch eine Feder mit der Richtkraft f gekoppelt sind, bekanntlich beschreiben durch die Differentialgleichungen

$$\left.\begin{aligned} m\left(\frac{d^2x_1}{dt^2}+\omega_0^2x_1\right) &= f\cdot(x_2-x_1),\\ m\left(\frac{d^2x_2}{dt^2}+\omega_0^2x_2\right) &= f\cdot(x_1-x_2).\end{aligned}\right\} \tag{1}$$

Dies Gleichungssystem hat 2 Normallösungen, bei denen beide Pendel harmonisch mit gleicher Frequenz schwingen. Wir erhalten diese Lösungen durch den Ansatz

$$x_1 = a_1 e^{i\omega t}, \qquad x_2 = a_2 e^{i\omega t}, \tag{2}$$

der zu dem Gleichungssystem führt

$$\left.\begin{aligned} a_1\left(\omega_0^2-\omega^2+\frac{f}{m}\right)-a_2\frac{f}{m} &= 0,\\ -a_1\frac{f}{m}+a_2\left(\omega_0^2-\omega^2+\frac{f}{m}\right) &= 0.\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Die Bedingung für die Lösbarkeit dieses Systems ist das Verschwinden der Determinante:

$$\left(\omega_0^2-\omega^2+\frac{f}{m}\right)^2-\left(\frac{f}{m}\right)^2=0.$$

Das ergibt die 2 Lösungen:

1. Fall: $\omega_1=\omega_0$, $a_1=a_2$, *symmetrische Lösung.* Beide Pendel schwingen mit gleicher Phase. Es ist selbstverständlich, daß dann beide Pendel mit ungestörter Eigenfrequenz schwingen, da die Kopplungsfeder bei diesem Bewegungstyp stets gleich lang bleibt und gar nicht beansprucht wird.

2. Fall: $\omega_2=\sqrt{\omega_0^2+2\frac{f}{m}}$, $a_1=-a_2$, *antimetrische Lösung.* Die beiden Pendel schwingen mit entgegengesetzter Phase, so daß die Mitte der Kopplungsfeder stets in Ruhe bleibt und jedes Pendel als zusätzliche Richtkraft die doppelte Federkraft $2f$ erfährt, die mit der eigenen Richtkraft $m\omega_0^2$ gleichgerichtet ist.

Jede beliebige Bewegung der beiden Pendel, die irgendwie vorgegebene Anfangsbedingungen erfüllt, erhält man dann bekanntlich durch Superposition der beiden Normallösungen; d. h. in der Form

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= a\,e^{i\omega_1 t}+b\,e^{i\omega_2 t},\\ x_2 &= a\,e^{i\omega_1 t}-b\,e^{i\omega_2 t}.\end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Als Ergebnis der einfachen Rechnung halten wir also fest, daß die ursprüngliche Eigenfrequenz in 2 Frequenzen aufgespalten ist.

Denken wir uns dies Beispiel in die Quantenmechanik übertragen, so werden wir erwarten, daß auch hier die Frequenzaufspaltung wiederkehrt. Frequenz und Energie sind dort nun aber verknüpft durch die Plancksche Beziehung

$$E=\hbar\omega; \tag{5}$$

mit der Frequenzaufspaltung Hand in Hand muß also hier eine Energieaufspaltung gehen.

Bleiben wir einen Augenblick bei dem Beispiel der gekoppelten Pendel, so ist in der Tat die Frequenzberechnung der Quantenmechanik identisch mit derjenigen der klassischen Mechanik. Nur ist der Weg, den wir hier einzuschlagen pflegen, etwas ungewöhnlich: Wir gehen nicht von den Bewegungsgleichungen (1) aus, sondern vom Energiesatz in der Hamiltonschen Form. Aus den Gln. (1) können wir den Energiesatz sofort ab-

leiten, indem wir die erste Gleichung mit dx_1/dt, die zweite mit dx_2/dt multiplizieren, addieren und die Summe nach t integrieren. Er lautet:

$$\frac{m}{2}\left(\left(\frac{dx_1}{dt}\right)^2+\left(\frac{dx_2}{dt}\right)^2\right)+ \\ +\frac{m}{2}\left(\omega_0^2+\frac{f}{m}\right)(x_1^2+x_2^2)-fx_1x_2=E. \qquad (6)$$

Statt der Geschwindigkeiten führen wir die Impulse $p_i = m\,dx_i/dt$ ein; dann erhalten wir den Energiesatz in der HAMILTONschen Form:

$$\left.\begin{aligned} H(p_1x_1, p_2x_2) &= \frac{p_1^2}{2m}+\frac{m}{2}\left(\omega_0^2+\frac{f}{m}\right)x_1^2 \\ &\quad +\frac{p_2^2}{2m}+\frac{m}{2}\left(\omega_0^2+\frac{f}{m}\right)x_2^2-fx_1x_2 \\ &= H_1(p_1x_1)+H_2(p_2x_2)+H_{12}(x_1x_2)=E. \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

Man erhält also einen Energieausdruck H_1, der nur vom ersten Pendel abhängt, einen genau gleichgebauten H_2, der nur vom zweiten abhängt, und ein Kopplungsglied H_{12}. Gehen wir zu den neuen Koordinaten und Impulsen über:

$$\left.\begin{aligned} q_1' &= \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1+x_2), \quad & p_1' &= \frac{1}{\sqrt{2}}(p_1+p_2), \\ q_2' &= \frac{1}{\sqrt{2}}(x_1-x_2), \quad & p_2' &= \frac{1}{\sqrt{2}}(p_1-p_2), \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

so bleiben die Quadratsummen von Gl. (7) auch in den neuen Variablen erhalten, während im Kopplungsgliede jetzt ebenfalls an Stelle des gemischten Produkts reine Quadrate auftreten:

$$x_1^2+x_2^2=q_1'^2+q_2'^2; \quad p_1^2+p_2^2=p_1'^2+p_2'^2; \\ x_1x_2=\tfrac{1}{2}(q_1'^2-q_2'^2).$$

Die Hamiltonfunktion nimmt dann die Gestalt an:

$$\left.\begin{aligned} H(p_1'q_1',\, p_2'q_2') &= \frac{p_1'^2}{2m}+\frac{m}{2}\left(\omega_0^2+\frac{f}{m}-\frac{f}{m}\right)q_1'^2 \\ &\quad +\frac{p_2'^2}{2m}+\frac{m}{2}\left(\omega_0^2+\frac{f}{m}+\frac{f}{m}\right)q_2'^2 \\ &= H_1'(p_1'q_1')+H_2'(p_2'q_2')=E. \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

Sie ist damit zerlegt in 2 Summanden, deren jeder einen harmonischen Oszillator beschreibt. Ein Kopplungsglied ist nicht mehr vorhanden; jeder schwingt daher unabhängig vom anderen, der erste mit der Frequenz $\omega_1 = \omega_0$, und der zweite mit

$$\omega_2=\sqrt{\omega_0^2+2\frac{f}{m}}.$$

Das ist der geeignete Ausgangspunkt für die Quantelung: Die Separation der Variablen ist möglich, und jeder der beiden Oszillatoren kann nunmehr getrennt gequantelt werden; die möglichen Energiestufen des Gesamtsystems (E) sind daher durch 2 Quantenzahlen, n_1 und n_2, zu beschreiben:

$$E_{n_1n_2}=\hbar\omega_1(n_1+\tfrac{1}{2})+\hbar\omega_2(n_2+\tfrac{1}{2}) \qquad (10)$$

sind die erlaubten Energiewerte[1]) (Eigenwerte). Diese Energieformel führt infolge der Frequenzaufspaltung auch eine Aufspaltung der Energieeigenwerte herbei: Wäre keine Kopplung vorhanden, so würde der Zustand, bei dem der erste Oszillator mit der Quantenzahl $n_1 = k$, der zweite mit $n_2 = l$ schwingt, die gleiche Energie besitzen wie der umgekehrte Zustand mit $n_1 = l$, $n_2 = k$, nämlich

$$E_{kl}=E_{lk}=\hbar\omega_0(l+k+1).$$

Infolge des Kopplungsgliedes aber unterscheiden sich die beiden Zustände um

$$E_{kl}-E_{lk}=\hbar(\omega_1-\omega_2)(k-l).$$

Diese Art der Aufspaltung ist charakteristisch für die Quantenmechanik: Wenn zwei verschiedene Schwingungszustände eines Systems ohne Kopplung den gleichen Energieinhalt haben oder, wie man kurz sagt, wenn sie miteinander entartet sind, dann spaltet der Energieeigenwert bei Berücksichtigung der Kopplung in zwei etwas verschiedene Eigenwerte auf. Die halbe Größe dieser Aufspaltung, also

$$A_{kl}=\tfrac{1}{2}(E_{kl}-E_{lk})$$

bezeichnet man dabei als die Austauschenergie.

Sehen wir nun einmal von dem speziellen Beispiel der Pendel oder der Oszillatoren ab und betrachten den allgemeineren Fall zweier leicht gekoppelter Systeme. Den Ausgangspunkt der Behandlung bietet uns wieder die Hamiltonfunktion; in Gl. (7) haben wir bereits eine allgemeinere Schreibweise angedeutet, die das Wesentliche enthält. Die Hamiltonfunktion soll die Form haben

$$H=H_1+H_2+H_{12}=E, \qquad (11)$$

wobei H_1 und H_2 *dieselbe* Funktion bedeuten, die einmal von Koordinaten und Impulsen des ersten, das andere Mal von denen des zweiten Teilchens (oder, allgemeiner ausgedrückt: Freiheitsgrades) genommen wird. H_{12} soll das Kopplungsglied sein. In den physikalisch interessanten Fällen ist es stets *symmetrisch*, so daß es bei einer Vertauschung der beiden Teilchen in sich selbst übergeht:

$$H_{12}=H_{21}. \qquad (12)$$

In dieser Symmetrie drückt sich einfach das Prinzip von Aktion und Reaktion aus.

Wir denken uns zunächst die beiden Systeme entkoppelt, streichen also H_{12} aus Gl. (11) weg. Die quantenmechanische Behandlung verläuft dann so, daß wir an Stelle von H_1 und H_2 bestimmte Operatoren zu setzen haben, die auf die Koordinaten des ersten bzw. des zweiten Teilchens wirken. Die möglichen Schwingungszustände des ersten Teilchens erhalten wir dann durch Lösung der Differentialgleichung

$$H_1u=Eu,$$

[1]) Nach der alten halbklassischen Theorie ergab sich $\hbar\omega_1n_1+\hbar\omega_2n_2$; die hinzugefügten Glieder $\frac{1}{2}$ folgen nach der Quantenmechanik und bedeuten die Nullpunktsenergie.

die nichts weiter ist als die Schrödingergleichung dieses Teilproblems und unter Einhaltung der zugehörigen Randbedingungen eine Folge von Eigenwerten $E_1, E_2, \ldots E_r \ldots E_s \ldots$ mit zugehörigen Eigenfunktionen $u_1, u_2, \ldots u_r \ldots u_s \ldots$ zur Lösung hat. Die u sind dabei Funktionen der Koordinaten des ersten Teilchens. Sie bilden ein vollständiges Orthogonalsystem, das auf 1 normiert sein möge:

$$\int u_r(1)\, u_s(1)\, dV_1 = \delta_{rs},$$

also $= 0$ für $r \neq s$ und $= 1$ für $r = s$.

Wegen der Gleichheit der Operatoren H_1 und H_2 (Resonanzbedingung) ergeben sich für das zweite Teilchen dieselben Eigenwerte und Eigenfunktionen, wobei die u dann nur Funktionen der Koordinaten des zweiten Teilchens sind. Dementsprechend haben wir zwei mögliche Eigenlösungen des ganzen Systems: $u_r(1)u_s(2)$ bedeutet, daß sich das Teilchen 1 im Zustande r mit der Energie E_r befindet und das Teilchen 2 im Zustande s mit der Energie E_s; $u_s(1)u_r(2)$ bedeutet das Umgekehrte. Jede Linearkombination dieser beiden Lösungen,

$$\psi = a\, u_r(1)\, u_s(2) + b\, u_s(1)\, u_r(2) \qquad (13)$$

ist demnach wieder eine Lösung des Problems zur Gesamtenergie $E_r + E_s$.

Solange keine Kopplung zwischen den beiden Systemen besteht, haben wir kein Mittel, die willkürlichen Konstanten a und b näher zu bestimmen. Wir sprechen davon, daß die beiden Zustände $u_r(1)u_s(2)$ und $u_s(1)u_r(2)$ miteinander entartet sind. Da zum Zustandekommen dieser Entartung die Gleichheit der beiden Operatoren H_1 und H_2 notwendig ist, bezeichnen wir die Erscheinung auch als *quantenmechanische Resonanz*, oder, da die beiden miteinander entarteten Zustände durch Vertauschung der beiden Teilchen auseinander hervorgehen, als *Austauschentartung*.

In dem Augenblick, in dem wir das Kopplungsglied H_{12} mitführen, gelingt die Festlegung der Koeffizienten a und b. Wir führen jetzt die zweite Voraussetzung ein, nämlich daß dies Kopplungsglied klein ist, so daß wir ein Störungsverfahren anwenden können. Wir berücksichtigen in erster Näherung nur den Einfluß des Kopplungsgliedes auf die Eigenwerte, aber nicht auf die Eigenfunktionen, d. h. wir setzen die Lösung (13) in die Differentialgleichung (11) ein. Es entsteht dann einfach

$$(E_r + E_s + H_{12} - E)\,\psi = 0.$$

Der Eigenwert verschiebt sich infolge des Kopplungsgliedes um einen Betrag ε; wir schreiben

$$E = E_r + E_s + \varepsilon, \qquad (14)$$

erhalten also

$$(H_{12} - \varepsilon)\,(a\, u_r(1)\, u_s(2) + b\, u_s(1)\, u_r(2)) = 0. \qquad (15)$$

Wir multiplizieren diese Gleichung mit den komplex konjugierten Funktionen, nämlich einmal mit $u_r^*(1)u_s^*(2)$, das andere Mal mit $u_s^*(1)u_r^*(2)$ und integrieren beide Male über die sämtlichen Koordinaten beider Teilchen. Dann entstehen unter Benützung der Orthogonalitätseigenschaften die Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} &a \iint dV_1\, dV_2\, u_r^*(1)\, u_s^*(2)\, H_{12}\, u_r(1)\, u_s(2) \\ &+ b \iint dV_1\, dV_2\, u_r^*(1)\, u_s^*(2)\, H_{12}\, u_s(1)\, u_r(2) - a\cdot\varepsilon = 0, \\ &a \iint dV_1\, dV_2\, u_s^*(1)\, u_r^*(2)\, H_{12}\, u_r(1)\, u_s(2) \\ &+ b \iint dV_1\, dV_2\, u_s^*(1)\, u_r^*(2)\, H_{12}\, u_s(1)\, u_r(2) - b\cdot\varepsilon = 0. \end{aligned}\right\} (16)$$

An dieser Stelle führen wir endlich die dritte Voraussetzung ein, nämlich die *Symmetrie* des Kopplungsgliedes, Gl. (12). Die beiden in der Hauptdiagonale stehenden Integrale stimmen dann überein

$$\left.\begin{aligned} &\iint dV_1\, dV_2\, u_r^*(1)\, u_s^*(2)\, H_{12}\, u_r(1)\, u_s(2) \\ &= \iint dV_1\, dV_2\, u_s^*(1)\, u_r^*(2)\, H_{12}\, u_s(1)\, u_r(2) = K \end{aligned}\right\} (17)$$

und desgleichen die beiden in der Nebendiagonale

$$\left.\begin{aligned} &\iint dV_1\, dV_2\, u_r^*(1)\, u_s^*(2)\, H_{12}\, u_r(1)\, u_s(2) \\ &= \iint dV_1\, dV_2\, u_s^*(1)\, u_r^*(2)\, H_{12}\, u_s(1)\, u_r(2) = A, \end{aligned}\right\} (18)$$

so daß sich die Gleichungen vereinfachen zu

$$\begin{aligned} a\,(K - \varepsilon) + b\,A &= 0, \\ a\,A + b\,(K - \varepsilon) &= 0. \end{aligned}$$

Damit eine Lösung dieses Gleichungssystems existiert, muß die Determinante verschwinden, also $(K - \varepsilon)^2 = A^2$ werden. Wir haben daher 2 Fälle zu unterscheiden[1]):

1. Fall: $K - \varepsilon = -A$; $\varepsilon = K + A$; $a = b$; symmetrische Lösung.

$$E = E_r + E_s + K + A,$$

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}\,(u_r(1)\, u_s(2) + u_s(1)\, u_r(2)).$$

2. Fall: $K - \varepsilon = +A$; $\varepsilon = K - A$; $a = -b$; antimetrische Lösung.

$$E = E_r + E_s + K - A,$$

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}\,(u_r(1)\, u_s(2) - u_s(1)\, u_r(2)).$$

Die Störungsenergie führt zunächst eine Verschiebung des Energiewerts um den Betrag K herbei. Dieser Betrag kann leicht klassisch gedeutet werden an Hand von Gl. (17). Es bedeutet ja $\varrho_r(1) = u_r^*(1)u_r(1)$ die Ladungsdichteverteilung des ersten Teilchens im Zustande r, so daß wir schreiben können

$$K = \iint dV_1\, dV_2\, \varrho_r(1)\, \varrho_s(2)\, H_{12}.$$

Dies ist genau die klassische Wechselwirkungsenergie zweier Ladungswolken. Liegen etwa 2 Elektronen vor, so ist $H_{12} = e^2/r_{12}$, und es entsteht sofort der wohlbekannte Ausdruck der Elektrostatik

$$K = \iint \frac{dV_1 \cdot e\varrho_r(1) \cdot dV_2 \cdot e\varrho_s(2)}{r_{12}} = \iint \frac{dQ_1^{(r)}\, dQ_2^{(s)}}{r_{12}},$$

wobei $dQ_1^{(r)}$ und $dQ_2^{(s)}$ die beiden Ladungen der Volumelemente dV_1 und dV_2 sind, deren Wechselwirkung berechnet wird.

[1]) Der Normierungsfaktor $1/\sqrt{2}$ dient der Normierung von ψ auf 1.

Es tritt nun aber nicht nur eine Verschiebung des Eigenwerts auf, die klassisch ohne weiteres verständlich ist, sondern außerdem noch eine Aufspaltung in 2 Komponenten symmetrisch um den Wert $E_r + E_s + K$ herum. Diese Aufspaltung äußert sich klassisch nur in der Frequenz; dann ist sie nichts weiter als die allgemeine Form der vorhin am Beispiel der Oszillatoren abgeleiteten. Gemäß der PLANCKschen Gleichung tritt jetzt diese Aufspaltung aber auch in der Energieskala auf. Die Größe A ist eine Energie; sie läßt keine unmittelbare anschauliche Deutung zu. Sie heißt das *Austauschintegral* infolge ihrer speziellen Gestalt im Rahmen der Störungsrechnung, oder die *Austauschenergie*.

Wir haben bisher nur gezeigt, daß die Frequenzaufspaltung in der klassischen wie in der Quantenmechanik gleichermaßen auftritt; eine anschauliche Sinngebung dieser Aufspaltung haben wir bisher nicht in Angriff genommen. Um zu zeigen, daß auch dies sehr wohl möglich ist, kehren wir zum Beispiel der gekoppelten Pendel zurück.

Wir wollen ausgehen von einem Zustand, bei dem die Kopplung noch nicht vorhanden ist. Das erste Pendel möge schwingen, das zweite in Ruhe sein. Zu einem bestimmten Zeitpunkt ($t = 0$) „schalten" wir die Kopplung ein, was ganz sinnfällig so geschehen kann, daß wir die Kopplungsfeder an die beiden Pendel anhängen. Wir wollen dazu gerade einen Zeitpunkt wählen, in dem das erste Pendel durch die Ruhelage hindurchgeht. Dann haben wir jedenfalls die Anfangsbedingungen zu befriedigen:

$$x_1 = 0\,,\quad dx_1/dt \neq 0\,,\quad x_2 = 0\,,\quad dx_2/dt = 0 \text{ für } t = 0\,.$$

Die allgemeine Lösung (4) nimmt dann die spezielle Gestalt an:

$$x_1 = a\left\{\sin\omega_0 t + \frac{\omega_0}{\omega'}\sin\omega' t\right\},$$

$$x_2 = a\left\{\sin\omega_0 t - \frac{\omega_0}{\omega'}\sin\omega' t\right\},$$

wobei die Abkürzung

$$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 + 2\,\frac{f}{m}}$$

eingeführt ist. Für die Geschwindigkeiten erhalten wir durch Differenzieren:

$$\frac{dx_1}{dt} = a\,\omega_0(\cos\omega_0 t + \cos\omega' t)$$
$$= 2a\,\omega_0\cos\frac{(\omega_0+\omega')t}{2}\cos\frac{(\omega_0-\omega')t}{2},$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a\,\omega_0(\cos\omega_0 t - \cos\omega' t)$$
$$= -\,2a\,\omega_0\sin\frac{(\omega_0+\omega')t}{2}\sin\frac{(\omega_0-\omega')t}{2}.$$

Solange nun die Kopplung gering ist, wird ω' sehr nahe bei ω_0 liegen; die Frequenzdifferenz $\omega_0 - \omega'$ also sehr viel kleiner sein als $\omega_0 + \omega'$. Infolgedessen entspricht der erste Faktor in den Geschwindigkeitsausdrücken einer schnellen Schwingung mit der hohen Frequenz $\frac{\omega_0+\omega'}{2}$, während der zweite eine Modulation bedeutet, d. h. ein langsames Pulsieren der Amplituden der hochfrequenten Schwingung mit der viel kleineren „Trägerfrequenz" $\frac{\omega_0-\omega'}{2}$. Wir wollen nun die kinetische Energie ausrechnen, gemittelt über die rasch variierende Hochfrequenz; dann erhalten wir

$$\overline{T_1} = \frac{m}{2}\overline{\left(\frac{dx_1}{dt}\right)^2} = \frac{m}{2}\,4a^2\omega_0^2\cdot\frac{1}{2}\cdot\cos^2\frac{(\omega_0-\omega')t}{2}$$
$$= m\,a^2\omega_0^2\cos^2\frac{(\omega_0-\omega')t}{2}.$$

$$\overline{T_2} = \frac{m}{2}\overline{\left(\frac{dx_2}{dt}\right)^2} = \frac{m}{2}\,4a^2\omega_0^2\cdot\frac{1}{2}\cdot\sin^2\frac{(\omega_0-\omega')t}{2}$$
$$= m\,a^2\omega_0^2\sin^2\frac{(\omega_0-\omega')t}{2}.$$

Diese Ausdrücke zeigen folgendes: Zur Zeit $t = 0$ liegt die gesamte Energie des Systems in Form der kinetischen Energie des ersten Pendels vor, $\overline{T_2} = 0$. Zur Zeit $t = \pi/(\omega_0 - \omega')$ ist die Energie vom ersten Pendel vollständig auf das zweite hinübergewandert, $\overline{T_1} = 0$. Zur Zeit $t = 2\pi/(\omega_0 - \omega')$ dagegen ist das ursprüngliche Bild wieder hergestellt. Also wandert die Energie zwischen den beiden Pendeln periodisch hin und her mit der Frequenz

$$\omega_A = \omega_0 - \omega'\,,$$

die wir deshalb die Austauschfrequenz nennen und die danach identisch ist mit der oben berechneten Frequenzaufspaltung.

Um die Analogie zur Quantenmechanik deutlich zu machen, wollen wir den gleichen Sachverhalt noch mit etwas anderen Worten beschreiben. In der Quantenmechanik sagen wir, wenn das Teilchen („Pendel") 1 die gesamte Energie hat, etwa: Es befindet sich im Zustande r, und wenn es die Energie Null hat, etwa: Es befindet sich im Zustande s. Wir können also den Vorgang des Energietransports zwischen den beiden Pendeln auch so ausdrücken: Zur Zeit $t = 0$ wird unser Pendelsystem beschrieben durch die Eigenfunktion $u_r(1)u_s(2)$; zur Zeit $t = \pi/(\omega_0 - \omega')$ dagegen heißt die Eigenfunktion $u_s(1)u_r(2)$. Die allgemeine Eigenfunktion wird daher die Form haben

$$\Psi(t) = a(t)\,u_r(1)\,u_s(2) + b(t)\,u_s(1)\,u_r(2)\,,$$

wo die Koeffizienten a und b jetzt nicht mehr wie in Gl. (13) Konstanten sind, sondern periodische Funktionen der Zeit.

Nachdem wir diesen Standpunkt gewonnen haben, ist es leicht, die allgemeine quantenmechanische Formulierung zu geben. Wir müssen uns nur daran erinnern, daß die vollständige (zeitabhängige) Eigenfunktion eines stationären Zustandes der Energie E die Form hat:

$$\Psi = e^{iEt/\hbar}\psi\,,$$

wobei ψ die nur von den Koordinaten abhängige Lösung der Schrödingergleichung ist. Für das System zweier gekoppelter Teilchen kennen wir bereits die Eigenfunktionen Ψ_1 und Ψ_2 für die beiden

stationären Zustände der Energien E_1 und E_2, nämlich die beiden vollständigen Lösungen

$$\Psi_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\omega_1 t}\{u_r(1)\,u_s(2) + u_s(1)\,u_r(2)\}$$

mit $\hbar\omega_1 = E_r + E_s + K + A$,

$$\Psi_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{i\omega_2 t}\{u_r(1)\,u_s(2) - u_s(1)\,u_r(2)\}$$

mit $\hbar\omega_2 = E_r + E_s + K - A$.

Die allgemeine Lösung ist eine Linearkombination dieser beiden stationären Lösungen. Wollen wir wie beim Pendelbeispiel, daß zur Zeit $t = 0$ das erste Teilchen sich im Zustande r, das zweite im Zustande s befindet, d. h. also, daß für $t = 0$

$$\Psi = u_r(1)\,u_s(2)$$

wird, so müssen wir die Kombination bilden

$$\begin{aligned}\Psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Psi_1 + \Psi_2) = \frac{1}{2} e^{i(E_r + E_s + K)t/\hbar} \\ \Big\{[u_r(1)\,u_s(2) + u_s(1)\,u_r(2)]\, e^{\frac{iAt}{\hbar}} \\ + [u_r(1)\,u_s(2) - u_s(1)\,u_r(2)]\, e^{-\frac{iAt}{\hbar}}\Big\} \\ = e^{i(E_r + E_s + K)t/\hbar}\Big\{u_r(1)\,u_s(2)\cos\frac{At}{\hbar} \\ + i\,u_s(1)\,u_r(2)\sin\frac{At}{\hbar}\Big\}.\end{aligned}$$

Um zur physikalischen Deutung zu gelangen, führen wir an Stelle der Eigenfunktion jetzt noch die Dichte $\varrho = |\Psi|^2$ ein. Sie wird

$$\varrho = |u_r(1)\,u_s(2)|^2 \cos^2\frac{At}{\hbar} + |u_s(1)\,u_r(2)|^2 \sin^2\frac{At}{\hbar}.$$

Dieser Ausdruck ist völlig analog gebaut zu dem beim Pendelbeispiel auf klassischem Wege abgeleiteten Energieausdruck. Er besagt, daß zur Zeit $t = 0$ das erste Teilchen im Zustande r, das zweite im Zustande s sei, nach Ablauf der Zeit $t = \frac{\pi}{2}\frac{\hbar}{A}$ aber die beiden ihre Rollen vertauscht haben. Da die andere Energie im allgemeinen auch mit einem anderen Ort des Teilchens verbunden ist, kann man dann auch von einem „Platzwechsel" der beiden Teilchen sprechen; der Ausdruck „Austausch" ist als der allgemeinere wohl vorzuziehen. Die Frequenz, mit der dieser Austausch vor sich geht, ist jedenfalls

$$\omega_A = 2A/\hbar.$$

Damit ist das Austauschintegral anschaulich so weit erklärt, wie das überhaupt möglich ist: Die Frequenz ω_A ist die „Platzwechselfrequenz", und die Energieaufspaltung $2A$ ist die mit dieser Frequenz durch die PLANCKsche Gleichung gekoppelte Energie.

Damit ist eine anschauliche Deutung der Austauschenergie gegeben, soweit dies überhaupt möglich ist: nämlich in dem gleichen Maße, wie eine anschauliche Deutung von PLANCKS Grundbeziehung der Quantentheorie möglich oder unmöglich ist.

Die Entwicklung der Pulverwaffe[1]).

Von P. KUNZE, Rostock[2]).

Das Feuer als Waffe bei Angriff und Verteidigung in Land- und Seegefechten ist schon in alten Zeiten häufig benutzt worden. Die alten Brandgeschosse und Flammenwerfer arbeiteten aber nur mit leicht brennbaren Substanzen wie Erdöl, Pech, Schwefel, Harz, welche auf die Mitwirkung des Luftsauerstoffs angewiesen waren. Zum Explosivstoff wird der Brandstoff erst durch das Hinzutreten eines Sauerstoffträgers. Das Schwarzpulver ist eine Mischung aus Salpeter, Schwefel und Kohle, wobei Salpeter der Sauerstoffträger und Kohle die zu verbrennende Substanz ist, der zur Herabsetzung der Entzündungstemperatur Schwefel beigemengt ist.

In dem Klima Europas konnten sich größere natürliche Salpeterlager nicht ausbilden. Irgendwann und irgendwo in Asien, wo Salpeter häufig ist — „Schnee von China" nannten ihn die Perser und Araber —, mag die flammenfördernde Wirkung der salpeterhaltigen Erde zuerst entdeckt worden sein und mag Anlaß gegeben haben zur Zusammenmischung der Pulversubstanzen. Bei den ersten Anfängen der Pulverwaffe müssen wir aber unterscheiden zwischen dem Pulver als Spreng- und Feuerstoff und dem Pulver als Treibmittel für Geschosse.

Als Spreng- und Feuerstoff war das Pulver den Tataren, Chinesen usw. sicher schon früher als uns bekannt, ohne daß sich ein genauer Zeitpunkt des ersten Auftauchens angeben läßt. Die alten Chroniken berichten gelegentlich in phantasievollen Bildworten von erschrecklichem Blitz und Donner, Feuer und Rauch. Die nachträgliche falsche Auslegung dieser Bildworte durch spätere Chronisten hat dann oft den Eindruck hervorgerufen, daß z. B. die Chinesen schon längst über Kanonen verfügt und mit Pulver geschossen hätten. DEMMIN deutet sogar die Scharten in der chinesischen Mauer, die 250 v. Chr. entstand, als Schießscharten für Pulverwaffen. Tatsächlich aber kannten die östlichen Völker das Pulver im wesentlichen nur als Explosiv- und Feuerstoff, nicht als Treibmittel für Geschosse aus Metallrohren. Als die Chinesen nach 1500 mit den metallenen Donnerbüchsen Europas Bekanntschaft machten, waren ihnen diese Dinge völlig neu. Die Mongolen bei ihrem Einfall in Schlesien 1241, die Mauren bei ihren langen Kämpfen mit den Spaniern haben das Pulver als Schreck- und

[1]) Auszug aus einer zur Feier des 30. Januar 1940 an der Universität Rostock gehaltenen Rede.

[2]) Physikalisches Institut der Universität.

Kampfmittel benutzt, haben mit ihm Blitz, Donner und Brand erzeugt, haben primitive Sprengbomben geworfen und wohl auch Stichflammen aus metallenen Kesseln gegen die Angreifer gerichtet, aber es besteht kein Anhaltspunkt dafür, daß sie *geschossen* haben.

Die Kämpfe mit diesen Völkern machten das Pulver auch im Abendland bekannt. Die Alchimisten auf ihrer Suche nach effektvollen Reaktionen beschäftigen sich mit der rätselvollen Substanz. Der Franziskanermönch ROGER BACO, Vorkämpfer für die exakte Naturbeobachtung, stark von der Kirche angefeindet, beschreibt 1242 die explosive Wirkung des Pulvers. ALBERTUS MAGNUS, Bischof in Köln, macht um 1265 das Pulver im Abendland weiter bekannt. Stets wird aber nur von Feuer, Donner und Blitz gesprochen, vom Pulver als Treibmittel für Geschosse ist nicht die Rede. RATHGEN ist der Ansicht, daß möglicherweise sogar noch um 1321 die Schußwaffe praktisch unbekannt war. Denn es ist auffällig, daß in einer Kreuzzug-Denkschrift des Venezianers SANUTUS an den Papst die Pulverwaffe nicht genannt wird. Der im Morgen- und Abendland vielgereiste Venezianer stellt alle Kampf- und Schreckmittel gegen die Ungläubigen mengen- und kostenmäßig genau zusammen, ohne die Feuerwaffen zu erwähnen.

Zum *Schießpulver* wird das Pulver erst dann, wenn man es mit einem Geschoß zusammen in ein Metallgefäß füllt und zündet. Der Sage nach war es die Zufallsentdeckung eines deutschen Mönchs, dem bei der Pulverbereitung im Mörser plötzlich der Mörserstempel um die Ohren flog. Die gründlichen Nachprüfungen haben aber keinen sicheren Anhaltspunkt für die Existenz dieses sagenhaften schwarzen BERTHOLD ergeben, und es besteht wohl keine Hoffnung, daß der Schleier, der über dieser so wichtigen Erfindung liegt, jemals gelüftet wird.

Wir als Deutsche müssen dies besonders bedauern, denn es scheint tatsächlich so, daß die Pulverwaffe im deutschen Kulturkreis, am Ober- oder Mittelrhein, zuerst entstanden ist und sich vom Rheinbecken aus strahlenförmig durch Europa verbreitet hat. Die Aussagen aller europäischen Völker stimmen damals überein, daß die Kunst des Schießens aus Deutschland gekommen sei.

Im Laufe ihrer Entwicklung verlieh die Pulverwaffe dem Abendlande immer mehr das militärische Übergewicht über die nahen und fernen Nachbarn und trug so wesentlich zur politischen Neugestaltung des Erdbildes bei. Früher spielten sich die Schlachten so ab, daß ein kurzes Gefecht mit den damaligen Fernwaffen (Pfeil, Speer, Wurfkraftgeschütz usw.) vorausging, dem dann der wuchtige und meist nur kurze Zusammenprall der Massen folgte. Für den Ausgang des Treffens spielte die brutale Kraft und Kampfeswut der Truppe eine entscheidende Rolle. Durch die Schußwaffe wird jetzt der primitive Nahkampf ersetzt durch einen Kampf zwischen fast unsichtbaren Gegnern auf weite Distanz. Nach wie vor ist, wie bei jedem Kampf, die moralische Qualität und innere Haltung der Truppe ausschlaggebend. Als neues Moment aber im Kampf der Völker tritt jetzt das naturwissenschaftlich-technische Können hinzu, das für die Erzeugung und Handhabung der Feuerwaffen erforderlich ist. Man denke beispielsweise an den enormen Aufwand von Intelligenz bei Bau und Führung eines modernen Schlachtschiffes oder Bombenflugzeuges.

Früher barg jede Verfeinerung der Lebensart eines Volkes die Gefahr in sich, von primitiveren Völkern überrannt zu werden, deren Rauflust noch ungedämpft war. So sehen wir in der Geschichte jedes Kulturzentrum nach dem Aufblühen schließlich wieder absterben mit der Zwangsläufigkeit eines Naturgesetzes. Heute können wir uns aber nicht mehr vorstellen, daß die Horden eines ATTILA, eines DSCHINGIS KHAN in Deutschland einfallen. Ein höheres Kulturniveau ist heute nicht mehr der Vorbote des militärischen Zusammenbruchs, sondern die notwendige Vorbedingung für den Sieg. Der moderne Krieg zwischen den Völkern ist nicht nur eine Charakterprobe, sondern zugleich auch eine kollektive Intelligenzprobe allergrößten Maßstabs.

Wenn wir Abendländer bei dieser Intelligenzprobe besonders gut abschneiden, so besteht für uns noch kein Anlaß zu übermäßigem Stolz. Denn diese für uns typische Geisteshaltung und Begabung ist zweifellos recht einseitiger Natur. Soweit ich unterrichtet bin, können sich kultivierte Araber, Inder, Chinesen hinsichtlich ihres allgemein menschlichen Niveaus mit den Besten unter uns messen. Die Tiefe und Weisheit ihrer Literatur und Philosophie hält jeden Vergleich mit der unsrigen aus. Unsere Offenbarungsreligionen pflegen wir nicht selber zu produzieren, sondern fertig aus dem Morgenlande zu beziehen. Was uns von diesen fremden Völkern unterscheidet, ist nicht die metaphysikalische, sondern die physikalische Begabung. Die Chinesen kannten den Kompaß vielleicht 1000 Jahre früher als wir; aber erst in unserer Hand wurde er zum Instrument, das uns den Weg wies durch die Weltmeere, als um 1500 die Aufteilung der Erde begann. Als DIAZ, COLUMBUS, VASCO DA GAMA ihre abenteuerlichen Fahrten heruntersegelten, da war ihr naturwissenschaftlicher Glaube an den Erfolg vielleicht noch größer als ihr christlicher Glaube an Gott. Wir erfanden erst die Schußwaffe und dann das Bücherdrucken. Bei umgekehrter Reihenfolge wäre das Schießen vielleicht zu spät gekommen, denn 1529 stand der Islam vor den Toren Wiens.

Die durch die Pulverwaffe bedingte radikale Verlagerung des Kräfteschwerpunktes wird besonders klar, wenn wir uns an die Zeit der Kreuzzüge erinnern. Alle christlichen Völker Europas sahen in der Eroberung des gelobten Landes das höchste ihrer Ziele, und trotzdem vermochte es der wilde Fanatismus und die geballte wirtschaftliche und militärische Kraft des gesamten Abend-

landes nicht, Jerusalem gegen den Islam zu halten. Heute würde dazu die ruhige Sachlichkeit einer kleinen gut gerüsteten Polizeitruppe genügen — falls man die Besetzung Jerusalems aus religiösen Gründen noch für wünschenswert halten würde. So radikal haben sich die Machtverhältnisse inzwischen gewandelt. Immer wieder steht man staunend vor der geradezu explosiven Entwicklung, die das Abendland in wenigen Jahrhunderten emporgeführt hat zur Herrschaft über den Erdball. Am Anfang dieser Entwicklung steht aber die Pulverwaffe.

Vor dem Auftauchen der eigentlichen Feuerrohre scheint man flaschenförmige Gefäße mit langem Hals benutzt zu haben, bei denen das Pulver beispielsweise durch eine von vorn eingeführte Zündschnur gezündet wurde. Einer der frühesten völlig sicheren Hinweise auf die Pulverwaffe ist der in Rouen in einer Urkunde von 1338 erwähnte pot de fer à traire garros de feu, ein eiserner Topf zum Verschießen von Brandpfeilen. Der Topf scheint aus Boulogne, also dem damaligen Flandern, zu kommen. Die ersten Frankfurter Urkunden, die erst von 1348 ab vorliegen, sprechen dagegen bereits von „büszen", also von zylindrischen Feuerrohren, die einschließlich des Pulvers von ortsansässigen eingearbeiteten Handwerkern hergestellt werden. Frankfurt, eine führende Stadt des mittelalterlichen Deutschlands, besaß also damals schon eine gewisse Anzahl Vorderlader-Pulverwaffen, die das erste Versuchsstadium bereits hinter sich hatten. Die Zündung erfolgt durch ein hinten liegendes, mit Pulvermehl ausgestopftes Zündloch durch ein Stück glühende Kohle oder durch einen am offenen Feuer erhitzten Eisenhaken, später durch die glimmende Lunte. Der Gedanke, Kugeln zu verschießen, war noch nicht gekommen; in Anlehnung an Bogen und Armbrust scheint man vielmehr allgemein Pfeilbolzen benutzt zu haben. Bleigeschosse, zum Teil mit Eisenkern, kommen erst zwischen 1350 und 1360 auf. Nach RATHGENS Schätzungen hatten die ersten Frankfurter Pfeilbüchsen ein gegossenes Bronzerohr von vielleicht 35 Pfund Gewicht, $^1/_2$ m Länge und 4 cm Kaliberweite; das Rohr war auf einem primitiven meterlangen Holzknüppel befestigt, damit der Schütze dem feuerspeienden Zündloch nicht zu nahe kam; das Gewicht des Büchsenpfeils wird auf etwa 300 g geschätzt. Aus diesem mittelschweren Gerät, das weder Gewehr noch Kanone war, entwickelt sich dann in Frankfurt bald die leichte Handwaffe einerseits, das leichte Geschütz mit etwa einpfündigen Bleikugeln andererseits.

In Anbetracht der geringen Schußleistungen war die Pulverladung dieser alten Vorderlader unverhältnismäßig groß. Bei den damaligen Handwaffen war das Pulvergewicht fast so groß wie das Kugelgewicht; ein modernes Gewehr würde die gleiche Schußleistung vielleicht mit dem 30. Teil der Pulverladung ergeben. Diese Größe der Pulverladung hatte 2 Gründe.

Erstens hatte das alte Schwarzpulver nach den damaligen Mischungsregeln rund doppelt soviel Schwefel als nötig, wahrscheinlich um die Verbrennungsgeschwindigkeit zu verlangsamen. Das theoretisch richtig gemischte Pulver war „schlecht", denn es zersprengte wegen seiner hohen Brisanz die Rohre. Das Zerspringen der Rohre beim Einschießen neuer Geschütze war ohnehin an der Tagesordnung, und die späteren größeren Bronzerohre mußten oft mehrmals umgegossen werden, bis sie den Gasdrucken standhielten. Der Schwefelüberschuß ist in abnehmendem Maße jahrhundertelang gebräuchlich gewesen und erst um 1850 durch chemische Einsicht und dank der schußfesten Gußstahlrohre verschwunden. Auch heute ist eine zu hohe Pulverbrisanz unerwünscht, und man beherrscht sie durch entsprechende Formung und Größe der Preßpulverstücke, so wie man auch in Benzinmotoren die allzu große Brisanz der Treibstoffe durch Antiklopfmittel herabsetzen kann.

Der zweite Grund für die große Pulverladung ist die schlechte Ausnutzung der Pulvergase in den Vorderladern. Das Rollgeschoß mußte wegen der Vorderladung im Durchmesser merklich kleiner sein als die Kaliberweite, so daß der gasdichte Abschluß fehlte; das notwendige Zündloch hinten bedingte eine weitere Undichte. In einem modernen Gewehr entwickeln sich Gasdrucke von 3000 bis 4000 Atmosphären. In den alten Rohren war eine nennenswerte Druckentwicklung gar nicht möglich, weil die Pulvergase größtenteils ungenutzt vorn und hinten ins Freie pfiffen. Während moderne Schußwaffen denselben energetischen Wirkungsgrad wie Dieselmotoren (35 %) haben können, lag der Wirkungsgrad alter Vorderlader nahe bei Null.

Wegen der geringen Leistung und der Umständlichkeit der Pulverwaffen spielten diese anfangs nur eine unbedeutende Nebenrolle, und die alten Fernwaffen (Bogen und Armbrust einerseits, Drehkraft- und Wurfgeschütze andererseits) blieben noch lange Zeit in Gebrauch. Die praktisch nutzbare Schußweite der Handfeuerwaffe war kaum größer als die der Armbrust, und ein gut gezielter Armbrustpfeil hatte auf 100 m keine schlechtere Treffsicherheit und Durchschlagskraft als das Geschoß eines Feuerrohrs. Besonders störend war die Empfindlichkeit der Pulverwaffen gegen Nässe. Noch 100 Jahre nach dem Auftauchen der Pulverwaffe werden Schlachten und Kriege verloren (HEINRICH II. 1540 vor Boulogne; KARL V. 1541 in Algier), weil die neumodischen Büchsen im Regen versagen und gegen die große Feuergeschwindigkeit von Bogen und Armbrust unterlegen sind. Selbst in der Neuzeit liegt noch ein ähnlicher beglaubigter Fall vor: 1813 bei Dresden versagten die österreichischen Steinschloßflinten infolge starker Regengüsse, und MURAT gewann die Schlacht.

Die Entwicklung ging also anfangs nur langsam vor sich. Von 1370 ab entsteht aber ganz plötz-

lich eine Sonderform der Geschütze: die großkalibrigen Steinbüchsen, die eine neue Geschichtsepoche einleiten und zum ersten Male die Möglichkeiten der Pulverwaffe in überzeugender Weise offenbaren und militärisch revolutionierend wirken.

Die Notwendigkeit dieser erstaunlichen, ganz plötzlich einsetzenden Entwicklung liegt, besonders in Deutschland, in den damaligen Zeitverhältnissen begründet. Die kaiserliche Zentralgewalt ist in Deutschland nur dem Namen nach vorhanden, und ununterbrochene Fehden und Kleinkriege untereinander bilden den normalen Dauerzustand im Reich. Jeder kleine Landesfürst oder Bischof, jedes Städtlein und jeder Rittersmann regierte im eigenen kleinen Machtbereich so wie es ihm paßte und nahm sich so viel Recht und so viel Unrecht, als er eben riskieren konnte. Hatte sich jemand bei seiner Umgebung allzu unbeliebt gemacht, zog er sich vor der heranrückenden Koalition hinter seine meterdicken Mauern zurück und wartete geduldig monatelang, bis den Belagerern die Lust oder das Geld ausging, denn der Sold war hoch. Offene Feldschlachten mit größeren Truppenmassen kamen kaum vor, und die militärischen Operationen erstarrten meist bald in der Form des Festungskrieges. Gegen dicke Mauern waren aber Bleigeschosse ebenso zwecklos wie Pfeilbolzen, und auch die alten Wurfmaschinen hatten nur begrenzte Wirkung. Als darum in dieser Situation das Steingeschütz auf den Plan tritt, muß es als erlösender Einfall wirken und eine völlige Umwälzung bedingen.

Die ungewöhnliche Kalibergröße, die teilweise bis an einen Meter heranreicht, ist durch das Geschoßmaterial bedingt. Bleikugeln schlagen sich an Steinmauern breit. Bronzekugeln vom erforderlichen Gewicht sind teuer und können vom Gegner gesammelt und wieder zum Gießen von Kugeln und Rohrläufen verwendet werden. Der Eisenguß steckt noch in den Kinderschuhen. So nimmt man Stein als Geschoßmaterial und gleicht das niedrige spezifische Gewicht durch entsprechende Kalibergröße aus. Die großen Rohre waren für die damalige Technik nicht leicht herzustellen. Manchmal setzte man sie aus geschmiedeten Eisensparren und Eisenreifen so zusammen wie ein Faß aus Dauben und Faßreifen. Wir müssen die Kunst der Eisenschmiede bewundern, die in monatelanger schwerster körperlicher Arbeit die langen Eisensparren mit ihrem trapezförmigen Querschnitt so maßhaltig zurechtschmiedeten, daß sie sich beim Zusammenbau fast fugenlos zu einem über die ganze Länge runden Rohr von gleichbleibendem Durchmesser zusammenfügten; denn ein nachträgliches Abdrehen oder Ausbohren war nicht möglich.

In der Regel allerdings wurden die Rohrläufe großer Kanonen aus Bronze gegossen; infolge kirchlicher Aufträge war die Bronzegußtechnik durch das Glockengießen hochentwickelt, und diese friedliche Technik fand hier eine militärische Anwendung. Als man 1377 in Frankfurt die erste Steinbüchse herstellen wollte, getrauten sich die ortsansässigen Handwerker nicht recht an diese neuartige Aufgabe heran. Man holte sich deshalb aus Arle bei Trier einen Büchsenmeister; unter befreundeten Städten war das gegenseitige Ausleihen von Meistern allgemein üblich. Der Mann aus Arle verpflichtete sich, ein Rohr von 35 cm Kaliber für einen Stein von 100 Pfund Gewicht und 300 Schritte (220 m) Schußweite zu liefern. Das Rohr ist in einem Monat fertig, zerspringt aber beim Probeschuß vor den Toren von Sachsenhausen, und der Büchsenmeister, der auszureißen versucht, wird eine Zeitlang eingesperrt. Aus Metz läßt man sich darauf einen Büchsenmeister FALCKE kommen, und dessen Rohr hält dann auch tatsächlich das Anschießen aus.

In späteren Zeiten waren Rohrgewichte von 100—300 Zentnern nicht selten, und ein solches Großgeschütz mit seinem Zubehör benötigte einen Wagenpark mit 100 und mehr Zugpferden. Allein das Rohr erforderte einen Vorspann von 10 bis 20 Pferden; dazu kamen die massigen Holzbalken und Blöcke zur Lagerung des Rohres, die schweren Hebezeuge und Winden, das mächtige hölzerne Schutzschild für die Geschützbedienung, die gewichtige Munition, der Gerätewagen usw. Der Guß einer solchen Großkanone war für die Stadt ein Volksfest mit Freibier, Musik und Tanz. Die Dimensionen wurden manchmal über das technisch mögliche Maß gesteigert, und manches dieser metallenen Riesenfässer hat wohl nie im Ernstfall geschossen oder wenigstens nie getroffen. In Moskau wurde 1586 ein Prunkgeschütz von 78000 Pfund Gewicht gegossen. Als Indien die europäische Entwicklung nachahmte, reichten die schwersten Rohre an 1000 Zentner heran. Deutsche Büchsenmeister waren in der ganzen Welt gesucht, da das Ausleihen eines Meisters billiger war als der Guß an Ort und Stelle und der nachfolgende teure Transport zum Käufer. So gossen sie für den Sultan die Geschütze zur Belagerung von Konstantinopel, arbeiteten also nicht selten gegen die Interessen des Reiches, ebenso wie sich deutsche Ritter an ausländische Staaten für Kriegsdienste verkauften.

Die Steinbüchsen erzielten nicht nur bei der Belagerung fester Plätze, sondern manchmal auch bei ihrer Verteidigung Erfolge. Als Dortmund, eine Stadt von damals 10000 Einwohnern, von einigen benachbarten Fürsten 5 Monate lang belagert wurde, führten die Städter in ihrer Not eine Metallspende durch und gossen damit eine Steinbüchse von 40 cm Kaliberweite. Die Angreifer waren sehr erstaunt, als plötzlich ein $2^1/_2$ Zentner schwerer Steinbrocken mitten durch das Lager pflügte und alles im Wege Stehende kurz und klein schlug. Und nach dem zweiten ebenso erfolgreichen Schuß packten sie hastig ihre Sachen und zogen ab, ohne den dritten abzuwarten.

Die Anschaffung und der Betrieb der Steinbüchsen war kostspielig, und nur kapitalkräftige Landesherren oder Gemeinwesen konnten sich

den Luxus solcher Großgeschütze erlauben. Die Zeit war der Erhaltung kleinster Machtgebilde nicht mehr günstig, und die unbändige Selbstherrlichkeit des Rittertums, das ohnehin schon vielfach entartet war, schwand schnell dahin. Die Belagerung der Raubritterburgen durch fürstliche und städtische Truppen wurde durch die Mitwirkung der Steinbüchsen eine verhältnismäßig einseitige Angelegenheit, die für die Angreifer oftmals durchaus feuchtfröhlich verlief mit gutem Essen und Trinken und wenig Verlusten — denn man mußte die Truppe bei guter Laune erhalten, damit sie nicht auseinanderlief. Die Ritter aber, die das Ende ihrer Herrlichkeit kommen fühlten, wehrten sich oft bis zum äußersten und gingen mit fliegenden Fahnen unter.

Ein historisch bedeutungsvolles Beispiel für die Leistung der Steinbüchsen ist die berühmte Faule Grete, mit der FRIEDRICH VON HOHENZOLLERN die Macht der aufsässigen QUITZOWS in Brandenburg brach. FRIEDRICH, vordem Burggraf von Nürnberg, war 1412 mit der Mark Brandenburg belehnt worden und besaß zunächst keine eigene schwere Artillerie. Er mußte sie sich also von seinen Nachbarn zusammenleihen. Die Grete erhielt er wahrscheinlich 1413 vom Deutschen Orden, dem wegen der Polengefahr (Tannenberg 1410) an einer Erstarkung Brandenburgs gelegen war. Ein Jahr später wagt dann der energische und kühl abwägende Hohenzoller den Schlag gegen die QUITZOWS und stürmt unter Mitwirkung der Faulen Grete die Burg Friesack. Dann baut sich das Großgeschütz hinter seinem riesigen Holzschirm etwa 300 Schritt vor der angeblich uneinnehmbaren Burg Plau auf. Mit höchster Feuergeschwindigkeit, also im Durchschnitt alle 2 Stunden einen Schuß, jagt es seine 3 Zentner schweren Steinkugeln gegen die $4^1/_2$ m dicken Ziegelmauern der Burg, und nach 10 Tagen war die Bresche geschossen. So wurde FRIEDRICH durch die Leistung der Grete Herr der Mark Brandenburg und legte damit den Grundstein zum politischen Aufstieg Preußens und des Hohenzollernhauses, welches 500 Jahre lang seine geschichtliche Mission in Deutschland erfüllte.

Der Ladevorgang bei großen Rohren war umständlich. Jeder Schuß war ein gewagtes Experiment mit langwieriger Vorbereitung und ungewissem Ausgang. Die Pulverkruste vom vorhergehenden Schuß mußte zunächst mit Schabern und Kratzern oder durch Auswaschen mit kochendem Wasser und Essig entfernt werden. Das Steingeschoß wird vorher auf Rundheit und Fehlerfreiheit geprüft, damit es im Rohr nicht klemmt und zerspringt; es empfiehlt sich auch, vorher sein Gewicht zu bestimmen, da dieses mit dem spezifischen Gewicht des Steines schwankt. Aus der herangerollten Pulvertonne gibt der Büchsenmeister die dem Steingewicht entsprechende Anzahl von Ladeschaufeln voll in die Pulverkammer des Rohres, stampft das Pulver mit dem Setzkolben vorsichtig fest, so daß noch ein gewisses Luftpolster darüber freibleibt, und verschließt die Kammer durch Einkeilen eines Holzpfropfs. Dieser Verschluß ist notwendig, damit das Pulver nicht einfach halbverbrannt herauszischt, bevor es zur Umsetzung kommt. Dann wird die Kugel gereinigt, mit Hebebäumen hochgewuchtet und in das waagerecht liegende Rohr eingerollt. Da sie kleiner ist als die Rohrweite, muß sie durch Eintreiben von Holzkeilen sorgfältig zentriert und durch Ausstopfen mit Werg abgedichtet werden. Jetzt wird das mächtige Bronzerohr auf seiner Bohlenbettung mit Winden und Hebebäumen angehoben, eingerichtet und sorgfältig gegen den Rückstoß verankert. Der Büchsenmeister verfolgt und kontrolliert die Arbeit mit Quadrant und Bleiwaage. Zum Schluß füllt er das mehrere Zentimeter weite Zündloch mit Pulvermehl und stopft es mit der Raumnadel fest.

Nunmehr ist das Geschütz feuerbereit. Die Mannschaft tritt zusammen und betet mit dem Büchsenmeister ein fromm Sprüchlein zum guten Gelingen. Dann nimmt alles volle Deckung bis auf den Büchsenmeister, der mit einem glühend gemachten Eisenhaken neben das Rohr tritt. Gewaltige Trompetenstöße — so schildert es RATHGEN — verkünden das Nahen des großen Augenblicks, das riesige Schutzschild, hinter dem sich die Arbeit vollzog, wird hochgewunden, ein Hagel von Pfeilen überschüttet die Burgmauer, um eine Gegenwirkung zu verhindern, und unter Anrufung der heiligen Barbara senkt der Büchsenmeister das Glüheisen auf die Pfanne. Mit einem ungeheuren Bums und Feuerstrahl aus Zündloch und Mündung verbrennt der halbe Zentner Pulver, und der gewaltige Steinklotz trudelt gemächlich hinüber zur Mauer, wo er mit dumpfem Knall in einer Wolke von Steinstaub zerspringt. Das Rohr bäumt sich mächtig auf, Widerlager zersplittern unter dem enormen Rückstoß von einigen 100000 kg, und der heilgebliebene Büchsenmeister, minutenlang eingehüllt in einer riesigen Wolke von Pulverqualm, schickt ein Dankgebet zum Himmel, weil der Schuß gelang.

Der Ladevorgang war auch noch um 1700 nicht viel einfacher als in der artilleristischen Frühzeit. Es ist wahrhaft erstaunlich, was man z. B. beim Granatenschießen, einem zeitgenössischen Rezept zufolge, alles in das Rohr hineinstopft. Auf das festgestampfte Pulver kommt eine Portion Heu oder Stroh, in das man Sand hineinmengt. Dann wird die Pulverkammer durch Einhämmern eines Holzpfropfs verschlossen. Hierauf stopft man Rasenstücke in den Lauf, stampft sie gründlich fest und schüttet noch zwei Finger breit Sand darüber. Sodann wird „die Bombe wohl visieret, ob sie sich in den Mortier wohl schicke", sie wird mit Stoppinen (Zündschnüren) wohlversehen und gegen den Stoß beim Abfeuern wohlverwahret — und dann kommt die Prozedur des Ladens und Abdichtens ähnlich wie oben geschildert.

Es sei hier noch ein Wort über die Pulverherstellung eingeschaltet. Durch die Einführung

der pulverfressenden Steinbüchsen ging der Salpeterbedarf sprunghaft in die Höhe; der Salpeter machte ja bei dem damaligen Mischungsverhältnis etwa zwei Drittel der Gesamtmenge aus.

In Europa gab es fast keine natürlichen Salpetervorkommen. Amerika mit seinem Chilesalpeter war im Bewußtsein Europas noch nicht vorhanden. So war man fast ausschließlich auf den Salpeter aus Indien und Fernost angewiesen. Die Republik Venedig mit ihrer machtvollen Handelsflotte beherrschte den Salpetertransport und nutzte ihre Monopolstellung rücksichtslos aus. Da Fahrstraßen über die Alpen fehlten, mußte der Salpeter zentnerweise auf Maultieren über die Pässe getragen werden, und zahllose Durchgangszölle und Wegegelder verteuerten ihn noch weiter. So kostete ein Zentner Salpeter 1381 in Nürnberg beim Aufkommen der Steinbüchsen noch 52 Gulden, also rund 500 Goldmark. Bei einem einzigen Schuß aus einer mittelgroßen Steinbüchse wurden leicht 200 und mehr damalige Goldmark verpulvert. Aus einem Vergleich der üblichen Arbeitslöhne kann man schätzen, daß die Kaufkraft der alten Goldmark etwa 6—7 heutigen Reichsmark entspricht. Es ergibt sich somit, daß der Salpeter damals teurer war als heute das Silber, welches 1900 RM. pro Zentner kostet.

Unter diesen Umständen wurde die Salpeterbeschaffung zu einem brennenden Problem für die Entwicklung der Pulverwaffe, ähnlich wie heute das Helium für den Luftschiffbau. Man löste die Schwierigkeit durch Anlage eigener Salpeterplantagen, in denen aus tierischen und menschlichen Abfallstoffen unter Mitwirkung von Bakterien salpetersaure Salze entstehen. Auch wurden die Bauern zur Ablieferung von Stall- und Dungerde an die Salpetersieder gezwungen. Unter dem Einfluß dieser autarkischen Maßnahmen ging der Salpeterpreis in wenigen Jahrzehnten auf ein Fünftel des bisherigen herunter, und das Salpetermonopol Venedigs, das die Preisentwicklung mitmachen mußte, war gebrochen.

Die Menge des so gewonnenen Kunstsalpeters war bedeutend. Während des Ersten Schlesischen Feldzuges verarbeitete die Berliner Pulvermühle für FRIEDRICH DEN GROSSEN jährlich 100000 Pfund Salpeter, und in den späteren Kriegen noch sehr viel mehr. Trotzdem trat öfter Pulvermangel ein, welcher die Preußen zur Einschränkung der pulverfressenden 12- und 24-Pfünder zwang[1]). Während der $4^1/_2$ Jahre des Weltkrieges verbrauchte man im Durchschnitt, Tag und Nacht, in rund 10 Minuten ebensoviel Salpeter wie FRIEDRICH im Ersten Schlesischen Krieg im ganzen Jahr. Wenn die deutsche Wissenschaft nicht kurz vor dem Weltkrieg das Problem der Stickstoffgewinnung gelöst hätte, wäre unser Kampf aus Salpetermangel bald zum Erliegen gekommen.

[1]) Die Rohrgrößen wurden nicht wie heute in Zentimeter Kaliberweite angegeben, sondern nach dem Gewicht ihrer gußeisernen Vollkugeln. Der 24-Pfünder entspricht in der Rohrweite dem heutigen 15 cm-Geschütz.

Die ersten Büchsenmeister stellten sich ihr Pulver selber her. Von 1400 ab kommen die von Wasser- oder Pferdekraft getriebenen mechanischen Pulvermühlen auf, in denen durch 24stündiges Stampfen die innige Mischung der drei so heterogenen Bestandteile Salpeter, Schwefel und Kohle bewirkt wird. Dieses erste Pulver hatte Mehlform und entmischte sich deshalb gern beim Lagern und beim tagelangen Rütteln auf längeren Transporten; außerdem neigte es mangels Zwischenräumen zum schichtweisen Abbrand und zum Auszischen. Es war daher ein wesentlicher Fortschritt, als um 1430 das gekörnte Pulver aufkam.

Übrigens kannte man schon um 1425 einen flüssigen Nitrosprengstoff, der von einem unbekannten deutschen Büchsenmeister erfunden war. Dieses aus Teeröl und Salpetersäure dargestellte „Schießwasser" wurde durch das Zündloch eingegossen und ergab größere Schußweiten als „gestärktes" Schwarzpulver. An ein Aufsaugen des Schießwassers durch poröse Stoffe, wie beim Dynamit, dachte man noch nicht, und das Rezept wurde wieder vergessen.

Die weitere Entwicklung der Schußwaffen wollen wir nur in groben Zügen skizzieren. Um 1400 werden von einem deutschen Büchsenmeister die als „Vögler" bezeichneten Hinterladerkanonen erfunden, bei denen die Pulverkammer und das Rohr getrennte Stücke sind, die für sich mit Pulver und Kugel geladen und dann durch geeignete Vorrichtungen miteinander verbunden werden. Es „gehet aber viel Dunst nebens hinaus", da ein gasdichtes Zusammenpassen von Kammer und Rohr schon wegen der Pulververkrustung schwer möglich war. So haben sich die Hinterlader nie recht durchzusetzen vermocht; sie werden aber auch noch um 1700 genannt, und man hat immer wieder an ihnen herumkonstruiert. Erst in der neueren Zeit ist das Problem der Hinterladung auch für die größten Kaliber gelöst worden.

Die alten Donnerbüchsen fanden zunächst nur als Festungsartillerie Verwendung; die Rohre wurden auf Bohlenunterlagen in Stellung gebracht oder waren auf der Mauer fest eingebaut. Von 1400 ab geht man aber dazu über, kleinere Rohre schußbereit auf Wagen zu montieren. Die Wagenkolonne, früher weit hinter der Schlachtfront aufgestellt, rückt jetzt als Angriffswaffe in die vorderste Linie. Die anfängliche Überlegenheit der Tschechen in den Hussitenkriegen beruht auf dieser Urform der Feldartillerie. Daraus entwickelt sich dann allmählich die Feldkanone, und um 1475 hat wenigstens das leichte Geschütz im Prinzip ungefähr die heutige Form angenommen: das Rohr ruht auf einer zweirädrigen Lafette und ist um Achszapfen schwenkbar. Die großen Rohre waren aber noch um 1500 zur Zeit Kaiser MAXIMILIANS „Legestücke", die auf Balkenbettungen am Boden lagen.

Die Treffgenauigkeit der alten Rohre war gering, da das Rollgeschoß des Vorderladers im Rohr einen gewissen Spielraum haben muß. Dieser Spiel-

raum mußte wegen der Rohrverkrustung ziemlich groß sein, denn das alte Schwarzpulver bildet bei der Verbrennung feste Rückstände wie Kaliumsulfid u. dgl., und wegen des schon erwähnten Schwefelüberschusses war die Schlackenbildung besonders groß. Demzufolge durfte z. B. bei 20 cm Kaliberweite das Kugelgeschoß nur etwa 19 cm Durchmesser haben. Dieser Spielraum des Geschosses war nicht nur für die Schußweite schädlich (dem konnte man noch durch übergroße Pulvermenge abhelfen), sondern hatte auch für die Treffsicherheit katastrophale Folgen. Die Kugel hatte keine genügende Führung im Rohr und bekam durch das Anecken an der Wandung einen unregelmäßigen Drall, der wie bei geschnittenen Tennisbällen zu krummen Flugbahnen führte (Querkräfte infolge Magnuseffekt). Dieser Mißstand bleibt, leicht abgeschwächt, bis in die artilleristische Neuzeit bestehen und verschwindet bei den Kanonen erst ab 1860 mit der Einführung der rotierenden gasdichten Langgeschosse, der Hinterlader und der rückstandfreien „rauchlosen" Explosivstoffe.

Das schlechte Treffvermögen der massiven Kugelgeschosse, für die man später eiserne Vollkugeln verwendete, wirkte sich in der Feldschlacht nicht so schädlich aus, als man vermuten könnte. Man schoß die Vollkugeln gern im Rollschuß (Ricochetschuß) flach über den Boden in Richtung auf den vermuteten Feind, ohne daß es notwendig war, ihn zu sehen oder die Schußweite zu kennen — was bei der riesigen Rauchentwicklung einer feuernden Batterie oft gar nicht möglich war. Die durch das Gelände und Buschwerk rollende und springende Kugel konnte Hunderte von Metern weit gehen und auch noch in flachen, uneingesehenen Mulden Wirkung bringen. Als um 1860 die gezogenen Geschütze und die explodierenden Langgeschosse aufkamen, die nur im Auftreffpunkt selber eine allerdings um so intensivere Wirkung hervorbringen, empfand man ihre außerordentliche Treffgenauigkeit in gewissem Sinne sogar als Nachteil. Man mußte erst entsprechend genaue Zielgeräte und eine sorgfältigere Ausbildung der Geschützmannschaft einführen, bevor man in der Lage war, die Vorzüge des neuen Geschütztyps voll auszunutzen.

Wegen der fehlenden Treffsicherheit waren die praktisch benutzten Schußweiten meist nur klein. Die *maximalen* Schußweiten waren aber bei entsprechender Pulverladung viel größer, und gegen ausgedehnte Ziele schoß man im Bedarfsfall auch kilometerweit. Bei der Beschießung der französischen Festung auf der Insel Mont St. Michel im Kanal hatten die Engländer 1423 ihre beiden Steinbüchsen auf der Nachbarinsel Tombelaine in Stellung gebracht. Die Schußweite ist hier also genau bekannt; sie betrug rund 3000 m bei einem vermutlichen Erhöhungswinkel von etwa 45°. An diesen Schußweiten hat sich in den vier Jahrhunderten bis zum Beginn der artilleristischen Neuzeit nicht viel geändert. Zur Zeit Prinz EUGENS um 1700, schoß das damalige Großgeschütz, die ganze Carthaune (19 cm Kaliberweite) bei größter Elevation 6000 Schritt, also $4^1/_2$ km weit. Der Fortschritt gegenüber den alten Steinbüchsen ist also nur gering, weil kein Bedürfnis für gesteigerte Schußweiten vorlag. Auf größere Entfernungen hätte man zwar schießen, aber nicht mehr beobachten und noch viel weniger treffen können.

Um 1480 erfindet ein deutscher Büchsenmeister das Ziehen der Rohre. Diese Rohrzüge waren anfänglich gradlinig und unverhältnismäßig tief eingegraben, denn sie dienten bei den Vorderladern lediglich als Schmutzrinnen, um trotz der Rohrverkrustung mehrere Schüsse hintereinander laden zu können, ohne zwischendurch zu reinigen. Später kommen dann auch gewundene Züge auf, die freilich bei Rollgeschossen zunächst keinen anderen Sinn haben als die geraden. Rotierende Langgeschosse finden sich zuerst bei den Handfeuerwaffen, wo die Aufgabe wegen der meistverwendeten Blei- oder Bleimantelgeschosse und wegen des kleinen Kalibers technisch leichter lösbar ist: man hämmert längliche Bleipfropfen von vorn als Geschoß in die Drallzüge ein. Dieses zeitraubende Verfahren bürgerte sich nicht bei den Armeegewehren ein, sondern blieb auf Sport- und Luxuswaffen beschränkt. Dort scheint es sich aber gut bewährt zu haben; in Bern kommt es 1563 wegen der gezogenen Rohre, die den glatten überlegen sind, zu Streitigkeiten in der Schützengilde. Der Rat muß eingreifen und eine neue Wettschießverordnung erlassen, derzufolge die gezogenen Rohre in einer Klasse für sich ausschießen müssen.

Bei der Benutzung gewundener Züge ließ man sich offenbar nur von Instinkt und Erfahrung leiten, denn für das volle theoretische Verständnis der Kreiseleffekte fehlten anfangs noch die physikalischen Voraussetzungen. Noch um 1733 kann LEUTMANN die Vorzüge des Geschoßdralls nicht anders begründen, als daß die rotierenden Langgeschosse sich wie ein Holzbohrer geradliniger durch die Luft und tiefer in das Ziel einbohren als Kugeln. Erst von 1800 ab setzt sich bei den Waffenfabrikanten allmählich das richtige Verständnis für die Präzessionsbewegung der Geschoßachse durch. Um 1840 finden die Drallzüge auch bei den Armeewaffen Eingang, und zwar zuerst beim Armeegewehr und etwa 20 Jahre später bei den Geschützen.

Der Eisenguß findet erstmalig 1391 in Frankfurt Anwendung, wo von einem frembden bussenschützen merckiln gast die neue Kunst gezeigt wird, wie man clein hant bussen und andre bussen uz isen gyessen kann. Der Eisenguß hat sich vorwiegend an den Erfordernissen des Rohrbaus entwickelt. Nach RATHGEN betreffen die 58 Nachrichten über Eisenguß im Zeitabschnitt von 1400 bis 1499 44mal Gewehr- und Geschützrohre und nur 14mal andere Gußwaren. Trotzdem ist der unmittelbare Einfluß des Eisengusses auf den Geschützbau nur gering. Wenn man das Geld hat,

gießt man auch noch um 1700 und später die Kanonenrohre aus der zähen und nichtrostenden Bronze. Indirekt hat der Eisenguß allerdings großen Einfluß auf die Entwicklung der Artillerie gehabt, denn von 1450 ab wird die gegossene Eisenkugel — geschmiedete gab es schon früher — das bevorzugte Geschoß für Kanonen. Die Mammutkaliber der Steinbüchsen verschwinden dadurch wieder, die Rohrgewichte gehen auf ein normales Maß zurück, und für die Entstehung der Feldartillerie ist die Bahn frei. Auf die vielgestaltige Form der Kugeln, Explosivgeschosse usw. kann hier nicht eingegangen werden.

Das heutige Rohrmaterial ist der Gußstahl, der 1849 von dem deutschen Büchsenmeister KRUPP in den Geschützbau eingeführt wurde. Da er in seinen Tiegeln nicht mehr als 300 Pfund Gußstahl auf einmal gießen konnte, hatten seine Kanonen zunächst nur ein dünnes stählernes Innenrohr, welches mit einem Gußeisenmantel umgossen war. — Auch die Gußstahltechnik ist wesentlich durch militärische Belange gefördert worden. NAPOLEON I. hatte sich durch die Kontinentalsperre vom englischen Gußstahl abgeschnitten und erließ deshalb ein Preisausschreiben von einer Million Goldfranken für die Stahlfabrikation. Der Essener Kaffeehändler FRIEDRICH KRUPP — Essen gehörte damals zu Frankreich — interessierte sich für die Goldmillion, und so entstand 1810 Deutschlands Waffenschmiede. Erst durch den Gußstahl sind die Leistungen unserer heutigen Pulverwaffen möglich geworden; der technische Fortschritt besteht häufig nicht in genialen Konstruktionen, sondern ist oft nur eine reine Materialfrage.

In Deutschland, dem Lande der Eigenbrötelei und Kleinstaaterei, herrschte lange Zeit eine heillose Verwirrung der Kalibergrößen und Geschützsorten. In der „teutschen Kriegsordnung" von 1524 werden „acht geschlechter von püxen" aufgezählt, Metzikanas, Basilisken, Duplikanas, Triplikanas, Quartanas usw., wozu noch weitere Typen von Morthiers (Mörsern) und Fewrpüxen kommen. Frankreich hatte dagegen schon frühzeitig eine straffe Normalisierung und Typenbeschränkung durchgeführt, und die heute am Rhein gegossene Kanone paßte mit der 10 Jahre später in Brabant gegossenen Kugel genau zusammen. Schon diese Tatsache allein mußte den Heeren LUDWIGS XIV. eine Überlegenheit über die aus Dutzendländchen zusammengewürfelten deutschen Truppen geben, wo sozusagen jeder wie in Landsknechtszeiten seinen eigenen Schießprügel mitbrachte. Der Normungsgedanke, der während der Französischen Revolution in der Schaffung des Meters und des Kilogramm seinen Ausdruck fand, lag in dem zentral regierten Frankreich näher als in dem zerrissenen Deutschland.

Ich habe die ganze Zeit zwischen der letzten Steinbüchse und der ersten Kruppkanone nur flüchtig behandelt, einerseits aus Raummangel, andererseits weil es hier tatsächlich nicht sehr viel Neues zu berichten gibt. Selbst unmittelbar vor Beginn der artilleristischen Neuzeit war das Geschützwesen im Prinzip noch nicht viel weiter als vor 500 Jahren, wie ein Beispiel beweisen soll. Als die Franzosen 1832 die von den Holländern verteidigte Zitadelle von Antwerpen belagerten, da griff der französische Offizier und Geschützbauer PAIXHANS noch einmal auf die alte Form der Steinmörser von 1400 zurück. Er ließ in Lüttich einen eisernen mortier monstre gießen, 7500 kg schwer, auf einer gleich schweren Plattform aus Eisen- und Bleiplatten, 60 cm Kaliberweite, mit einer Eisenbombe von 500 kg Gewicht bei 1000 m Schußweite. Jetzt ist dieses Eisenfaß im Museum in Brüssel zu sehen; es hat sich nicht bewährt. Daß so ein bedeutender Geschützkonstrukteur wie PAIXHANS diesen Wiederbelebungsversuch des Mittelalters für aussichtsreich hielt, beweist doch, daß man 1832 nicht viel Besseres zur Verfügung hatte als Jahrhunderte vorher.

In der Tat, wenn man den Stoff des Einführungskollegs über Experimentalphysik auf seine Entstehungszeit untersucht, wird man finden, daß der größere Teil dieses Wissens für Anfänger erst nach 1800 entstand. Früher war es ein weiter Weg von der Wissenschaft zur Technik, und der Weg von der Technik bis zur Genehmigung der Heeresvorlage im Parlament war nicht kürzer. So ist es verständlich, daß die ballistische Neuzeit erst um 1830—1840 beginnt. Wieder ist es ein deutscher Büchsenmeister, NIKOLAUS DREYSE aus Sömmerda, der sie mit seinem Zündnadelgewehr einleitet. Die Thüringer Gewehrindustrie war schon 300 Jahre früher hochentwickelt; beispielsweise bekamen schon 1586 die Waffenfabriken von Suhl den für damalige Verhältnisse bedeutenden Auftrag auf Lieferung von 2000 Gewehren und 500 Genaumusketen für die Schweiz. Das erste Dreysegewehr war noch ein Vorderlader; sein späterer Hinterlader brachte dann die endgültige Lösung des Problems. Das Zündloch und die Vorderladung, diese beiden Schmerzenskinder der Pulverwaffe, sind fortan beseitigt, und nach den Erfolgen des Dreysegewehrs von 1866 kann Europa die Millionenbestände seiner Gewehre zum alten Eisen werfen.

Die Entwicklung der Handfeuerwaffen, die wir hier nur gestreift haben, überträgt sich mit einer gewissen Zeitverschiebung auch auf die Geschütze. Die technische Entwicklung ist an sich vorgezeichnet, wird aber oft aus finanziellen Gründen verzögert, denn bei den Waffenbeständen handelt es sich um Milliardenwerte. Es kommt die Zeit der Kämpfe zwischen den Kriegsministern und den Volksvertretungen. Der preußische König und spätere deutsche Kaiser hat 1862 die größten Schwierigkeiten mit seiner Militärreform, seine Demission ist schon geschrieben, und nur durch das Eingreifen BISMARCKS wird die Abdankung verhütet, die für Deutschland nicht auszudenkende Folgen gehabt hätte.

Die Parlamente müssen ihre Sparsamkeit in der Bewaffnungsfrage meistens rasch und teuer bezahlen. 1859 verliert Österreich bei Solferino und Magenta mit seinen glatten Geschützrohren gegen die gezogenen Vorderladerkanonen[1]) der Franzosen, und 1866 unterliegt es wiederum dem preußischen Dreysegewehr. Das neue deutsche Mausergewehr kommt leider für den Krieg von 1870/71 zu spät, und das vorzügliche Chassepotgewehr, welches dem DREYSEschen nachkonstruiert ist, macht unseren Truppen viel zu schaffen. Dafür ist wieder die französische Artillerie der deutschen klar unterlegen, denn sie trat noch zum Teil mit den alten gezogenen Vorderladern an, welche NAPOLEON III. übereilt und ohne die technische Klärung abzuwarten 1859 eingeführt hatte, weil er für seinen italienischen Feldzug à tout prix gezogene Kanonen haben wollte. In Deutschland war das Geschützproblem durch die Konstruktionsarbeit von KRUPP eindeutig zugunsten der Hinterladung und rotierenden Langgeschosse mit gasdichtem Bleimantel oder Kupferring entschieden. Um 1903 hat Frankreich als erster Großstaat bei seiner Armee den Rohrrücklauf[2]) eingeführt; die anderen Staaten folgen bald nach. Damit hat das Geschütz im wesentlichen seine jetzige Gestalt angenommen.

Seitdem ist nur noch einmal eine prinzipiell neue Idee im Geschützwesen aufgetaucht, und wieder sind es deutsche Büchsenmeister, welche sie hervorbringen. Der wissenschaftlichen Ballistik gemäß haben freilich diese modernen Büchsenmeister nichts mehr mit den biederen Handwerkern des Mittelalters zu tun, sondern sind Professoren mit höherer Mathematik und Physik; ich meine das berühmte Pariser Ferngeschütz von RAUSENBERGER und EBERHARD, dessen enorme Schußweiten ein Vielfaches der bisherigen betragen und welches ganz neue ballistische Möglichkeiten eröffnet hat. Allerdings wird der Wert der großen Schußweite durch die gleichfalls sehr große Streuung stark gemindert; eine Stukabombe trifft genauer.

Wenn wir zum Schluß nochmals einen Rückblick auf die Geschichte der Pulverwaffen werfen und ihre Wechselwirkung zu den Menschen betrachten, so finden wir häufig eine ablehnende Haltung, die sich auf 2 Hauptgründe stützt:

1. Die Ablehnung aus allgemein sittlichen Gründen. Diese muß sich allerdings konsequenterweise gegen jeden Kampf und jede Waffe wenden und schließlich im Pazifismus ersticken.

2. Die Ablehnung aus — modern gesprochen — Gründen sportlicher Fairness. Es wurde schon eingangs angedeutet, daß durch die Feuerwaffen allerdings die Muskelkraft eines ACHILLES entwertet wird. Will man dies der Pulverwaffe zum Vorwurf machen, so darf man wohl zurückfragen: Ist es denn sportlich fair, wenn so ein homerischer Schwergewichtler mit Vorliebe gegen die unteren Gewichtsklassen antritt und dort seine billigen Lorbeeren sammelt? Es ist kein Verlust, daß der Biceps als Gradmesser soldatischer Tüchtigkeit geschwunden ist, denn dafür sind intellektuelle Qualitäten mehr in den Vordergrund getreten, und die alten kämpferischen Tugenden wie Mut, Selbstaufopferung, Treue haben ihren Wert unverändert behalten oder sogar noch gesteigert. Zuzugeben ist lediglich, daß im betrachteten Einzelfall beim Kampf mit der Pulverwaffe oftmals der blinde, sinnlose, dem Menschenwillen entzogene Zufall über Leben und Tod entscheidet. Aber im statistischen Durchschnitt wird auch heute noch der Tapfere über den Feigen siegen.

Literatur.

. . ., Büchsenmeisterei, von Geschoß, Büchsen, Pulver . . . Straßburg 1529. — DIEGO UFFANUS, Archeley, d. i. gründlicher Bericht . . . Frankfurt 1614. — . . ., Das neueröffnete Arsenal . . . Hamburg 1702. — I. G. LEUTMANN, Nachricht von gezogenen Büchsen . . . Wien (?) 1733. — W. KARSTEN, Von der Bahn der Geschützkugeln. Rostock 1764. — Prinz HOHENLOHE, Das gezogene Geschütz. Berlin 1860. — RUDOLF SCHMIDT, Die Handfeuerwaffe. Basel 1875. — E. HOFFBAUER, Taktik der Feldartillerie. Berlin 1876. — AUGUST DEMMIN, Die Kriegswaffen. Gera 1891. — HUGO SOMMER, Das brandenburg-preußische Heer. Berlin 1898. — MAX JÄHNS, Trutzwaffen. Berlin 1899. — G. v. ALTEN, Wider die Feldhaubitze. Berlin 1903. — P. v. SCHMIDT, Die preußische Armee. Berlin 1903. — B. RATHGEN, Das Geschütz im Mittelalter. Berlin 1928.

[1]) Bei diesen Vorderladern, System CAVALLI, hatte der Geschoßmantel vorn und hinten je 6 Zapfen, die in die 6 Drallzüge des Kanonenrohres eingriffen und so beim Abschuß das Langgeschoß in Rotation versetzten.

[2]) Auch der Rohrrücklauf ist eine rein deutsche Erfindung: 1750 die Rahmenlafette von Fürst LIECHTENSTEIN; 1896 der eigentliche Rohrrücklauf von K. HAUSSNER.

Besprechungen.

VON BUDDENBROCK, W., **Grundriß der vergleichenden Physiologie.** Band II. Atmung, Blut, Erfolgsorgane, Blutkreislauf. 2. völlig neubearb. Aufl. Berlin: Gebrüder Borntträger 1939. 660 S., 320 Abb., 3 Tafeln. 17 cm × 27 cm. Preis geh. RM 45,60, geb. RM 48.—.

Als der Ref. sich vor 41 Jahren für vergleichende Physiologie habilitieren wollte, wurde ihm der Bescheid, diese Wissenschaft gäbe es nicht. Allerdings: sie steckte noch in den Kinderschuhen. Ein richtiger Zoologe hatte sich damals auf rein morphologischem, entwicklungsgeschichtlichem oder vergleichend-anatomischem Gebiet die Sporen zu erwerben. In wie erfreulich hohem Maße inzwischen das Interesse an der vergleichenden Physiologie zugenommen hat, läßt sich daran ermessen, daß weniger als 10 Jahre nach der ersten eine zweite Auflage des v. BUDDENBROCKschen Werkes herausgebracht werden kann. Daß dies möglich ist, liegt natürlich auch daran, daß es schon in seiner ursprünglichen Fassung das damals vorhandene, weitzerstreute Material in überraschend übersichtlicher Form unter einheitlichem Gesichtspunkt zusammenfaßte. Aber ohne das nötige Interesse an der Leserschaft kommt auch das beste Buch nicht über

eine Auflage hinaus. Jetzt werden alle Nutznießer der neuen Auflage ihrem Verf. dankbar sein, daß er die unendliche Arbeit nicht gescheut hat, einen frischen Querschnitt durch das gegenwärtige Wissen der jungen Disziplin zu legen. Denn in dem verflossenen Zeitraum ist erstaunlich viel neues Material zu dem alten hinzugekommen, und auf so manchem Gebiet haben sich die Ansichten recht weitgehend geändert. Es lag wirklich ein Bedürfnis vor; ihm nachzukommen und die angeschwollene Literatur zu bewältigen, wäre wohl auch dem Verf. ohne die Vorarbeit der ersten Auflage unmöglich gewesen.

So lehnt sich denn auch die Einteilung des Stoffes eng an die vorige Auflage an, doch mußte das Volum sich wesentlich vergrößern, um alles Neue unterzubringen, und aus dem „Grundriß", über den das Werk eigentlich auch früher schon hinausreichte, ist doch ein „Handbuch" geworden, wenn es auch immer noch den bescheideneren Titel beibehalten hat. — Die einzelnen großen Abschnitte behandeln einleitend stets die gemeinsamen oder wenigstens weitverbreiteten Erscheinungen innerhalb einer Funktion und gehen dann zu den speziellen Verhältnissen der einzelnen Tierstämme und Gruppen über. Hierbei werden — wohl aus didaktischen Gründen — bald die wirbellosen, bald die sog. höheren Tiere an den Anfang gestellt. — Da sich das Werk wohl nicht nur an Forscher, sondern auch an Studierende wendet, würde mancher vielleicht wünschen, daß die Einleitungen noch allgemeiner gefaßt und die Beziehungen der einzelnen Funktionen zueinander noch deutlicher herausgestellt würden.

Der vorliegende 2. Band beginnt mit der Atmung unter Einschluß der allgemeinen aeroben und anaeroben Prozesse (sonst meist dem intermediären Stoffwechsel zugerechnet), wobei die Oxybiose vielleicht stärker in den Vordergrund gerückt wird, als der herrschenden Auffassung entspricht. Neu eingefügt ist ein kleines Kapitel über Carboanhydrasen. Einige noch unklare Punkte des Oberflächengesetzes werden deutlich hervorgehoben und geben wie vielfache, an andern Stellen untergebrachte Hinweise auf strittige Fragen Anregung zu erneuter Bearbeitung. Bei den speziellen Kapiteln bringt das über die Tracheaten besonders viel Neues und Interessantes.

Es folgt ein neu eingefügter eigener Abschnitt über das Blut, das hier fast ganz in seinen Beziehungen zur Atmung dargestellt wird. Nur über die Blutgerinnung wird an dieser Stelle noch ausführlich berichtet. Die sonstigen wichtigen Obliegenheiten des Blutes sind offenbar dem 3. Band vorbehalten.

Unter dem Generaltitel „Physiologie der Erfolgsorgane" wird nicht nur die Produktion mechanischer, elektrischer und photischer Energie besprochen, sondern es ist hier auch der Wärmehaushalt und — in logischem Anschluß an diesen — der Winterschlaf untergebracht. — Das Schlußkapitel ist dem Blutkreislauf gewidmet und bringt, besonders bei den Wirbellosen, viel Interessantes. Es folgt noch ein sehr genaues Autoren- und Sachregister.

Wer den ganzen Band Seite für Seite durchliest, wird über die Fortschritte der vergleichenden Physiologie in den behandelten Kapiteln einen so umfassenden Überblick erhalten, wie man ihn sich durch eigene Lektüre kaum wird verschaffen können. Man staunt, daß ein einzelner Forscher diesen enormen Stoff zu bewältigen vermochte. Selbst der Fachmann wird auf seinen eigensten Gebieten manche ihm entgangene Arbeit und häufig auch neue Anregungen finden. Mir wenigstens ging es so. Hat ja doch der Verf. nicht nur zusammengetragen, sondern auch geordnet und überall versucht, zu den schwebenden Fragen Stellung zu nehmen. Daß er dabei auf ihm ferner liegenden Gebieten hin und wieder an einer im Wanken begriffenen älteren Auffassung festhält oder eine noch nicht genügend begründete modernste Auslegung übernimmt, ist bei der ungeheuren Zahl von Problemen nicht verwunderlich. Ältere Forscher werden auch manchmal überrascht sein, daß jetzt einige Befunde und Ansichten als neu gelten, die in Wirklichkeit nur wieder neu aufgetaucht sind. Jedoch geht das nicht auf das Konto v. BUDDENBROCKS, sondern auf das mancher Epigonen, die nicht recht zu wissen scheinen, daß schon erheblich vor ihnen geforscht wurde. Das aber sind Dinge, auf die man als Referent wohl hinweisen durfte, die aber nicht gesagt wurden, um den Wert dieses vortrefflichen und mit Freuden begrüßten Buchs herabzudrücken.

A. BETHE, Frankfurt a. M.

MENDEL, GREGOR, **Versuche über Pflanzenhybriden.** Zwei Abhandlungen. Hrsg. v. ERICH v. TSCHERMAK-SEYSENEGG. 6. Aufl. (Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 121.) Leipzig: Akadem. Verlagsges. m. b. H. V, 71 S. u. 1 Bild. 12 × 19 cm. Preis kart. RM 3.80.

Der Band enthält die in zwei Sitzungen des „Naturforschenden Vereins in Brünn" 1865 vorgelegte, 1866 im Druck in den „Verhandlungen" des Vereins gedruckte klassische Arbeit „Versuche über Pflanzenhybriden" und die 1869 vorgelegte, 1870 gedruckte Arbeit „Über einige aus künstlicher Befruchtung gewonnene Hieraciumbastarde". Von E. v. TSCHERMAK, der schon die erste Auflage 1901 besorgte, sind wieder die „Anmerkungen", welche auch in aller Kürze eine Biographie MENDELS enthalten, geschrieben. Es ist selbstverständlich, daß dieser Band stets auf dem deutschen Büchermarkt erhältlich sein muß, und somit ist das Erscheinen der 6. Auflage wärmstens zu begrüßen.

G. MELCHERS, Berlin-Dahlem.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Die Sitzungsperiode 1939/40 begann am 21. Oktober 1939 mit einem Vortrag von Herrn E. WUNDERLICH, Hannover: **Der Zerfall Polens — eine politisch-geographische Betrachtung.** Der Vortr. gedachte zuerst der Initiative zweier Männer, die seinerzeit die Erforschung Polens in die Wege leiteten, v. BESELER und ALBRECHT PENCK. Dann ging er zu den großen Ereignissen der jüngsten Zeit über, zu dem so überraschend schnell erfolgten Zusammenbruch des polnischen Staates, der durch den Vertrag von Riga 1920 der — rein räumlich gesehen — sechstgrößte Staat Europas geworden war. Freilich: demjenigen, der Land und Leute Polens genauer kannte, dem konnte die Unsicherheit dieses Staates nicht verborgen sein; die Ursachen für den raschen Zerfall lagen in den inneren Verhältnissen selbst, vor allem in der Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur.

Eine sehr große Schwäche war von Anfang an die nationale Zerrissenheit. Polen war ein Nationalitätenstaat mit zahlreichen und überaus starken Minderheiten; es gehörte zu der völkischen Mischzone, die von den baltischen Staaten bis zum Balkan zieht. Nach der polnischen Statistik von 1920 (erste polnische Zählung) betrug der polnische Bevölkerungsanteil rund 69%, 1931 etwas weniger. Aber selbst diese Zahlen sind nicht zuverlässig, und es ist wahrscheinlich, daß die Polen in ihrem eigenen Staat nicht viel mehr als die Hälfte der Bevölkerung stellten.

Die einzelnen Volksgruppen haben in ihren heutigen Sitzen gut begründete Heimatrechte und waren nicht, wie die Polen wollten, geduldete Gäste auf polnischem Boden. Um so wesentlicher ist die räumliche Verteilung, die der Vortr. als „Randverteilung" kennzeichnete. Es gibt im Westen, und noch viel ausgeprägter im Osten des ehemaligen polnischen Staates ein geschlossenes Gebiet nichtpolnischer Bevölkerung. Die Polen und die anderen Volksgruppen (außer den Juden) haben also getrennt voneinander gewohnt, wenn auch im einzelnen natürlich vielfach verzahnt. Die Polen selbst haben nur ein Kerngebiet eingenommen, einen Raum, der wesentlich kleiner war als der Gesamtraum des Staates.

Mit den völkischen sind kirchliche und konfessionelle Gegensätze gekuppelt, insbesondere der Gegensatz der römisch-katholischen polnischen Staatsbevölkerung gegen die orthodoxen Völker des Ostens. Dazu kommt der Gegensatz der verschiedenen Kulturhöhe, ein Kulturgefälle von Westen nach Osten, das der Vortr. an eindrucksvollen Karten darlegte. Die sehr primitiven Völker des Ostens mit einem Analphabetentum von stellenweise über 75% bedeuteten kulturpolitisch eine starke Belastung, deren die Polen um so weniger Herr werden konnten, als sie selbst nicht die genügende kulturelle Überlegenheit besaßen.

Es war die entscheidende Aufgabe der polnischen Staatsführung, den Ausgleich zwischen all diesen Spannungen zu suchen. Der Marschall PILSUDSKI sah diese Aufgabe ein, nicht aber seine Nachfolger, unter deren Herrschaft die latenten Spannungen zu bewußten Gegensätzen wurden, die das Leben des Staates vergifteten. Im Osten hat die seit 1919 betriebene und besonders den Ukrainern gegenüber mit drakonischen Gewaltmaßnahmen durchgesetzte Ansiedlung polnischer Kolonisten eine furchtbare Agrarnot hervorgerufen. Trotzdem wäre es hier nicht so rasch zur Krise gekommen, wenn nicht im Westen das gleiche gewesen wäre. Die östlichen Gruppen hatten keine politische Führerschicht im Kampf gegen das Polentum. Im Westen aber stießen die Polonisierungsversuche auf das Deutschtum, und wenn dieses auch nur eine zerstreute Verbreitung besaß, so hatte es doch diesen Landesteilen das entscheidende kulturelle Gepräge gegeben — nicht nur durch die Industrie, sondern vor allem auch in der stillen agrarischen Erschließung des Landes. Die Polen, die dieses Deutschtum als kostbarsten Besitz hätten hüten müssen, haben im Gegenteil bewußt versucht, die kulturelle Überlegenheit der deutschen Minderheit zu beseitigen. Schulkampf und Agrarreform, also Kampf gegen das Geistige und gegen den deutschen Besitz, ließen die zunehmende Gegensätzlichkeit sichtbar werden, die nicht etwa erst von außen hineingetragen worden ist, sondern als latente Spannung seit der Geburtsstunde des polnischen Staates bestand.

Auch wirtschaftlich hatte die Führung Polens dem Staate nicht die nötige Festigkeit geben können; die Schaffung einer wirtschaftlichen Einheit wäre von größter Bedeutung gewesen! Der Grad der Industrialisierung ebenso wie die Intensität des Agrarbetriebes zeigt genau wie die geistige Kultur eine Abstufung durch das ganze Staatsgebiet. Aber statt auszugleichen, ordnete die polnische Staatsführung auch die gesamte Wirtschaftspolitik der Minderheitenpolitik unter und verfolgte die Unterdrückung aller Lebensfragen der anderen Volksgruppen. Diese Einstellung überschnitt sich mit einer einseitigen Förderung der Westgebiete; ein Polen-West und ein Polen-Ost bildeten sich heraus. Allerdings sind die Westgebiete von der Natur bevorzugt. Aber die Aufgabe hätte darin gelegen, dem Westen die hohe Kultur zu erhalten und im Osten die Lebensbedingungen allmählich zu bessern. Diese Aufgabe hat man nicht gesehen oder doch nicht genügend gefördert, und wenn in den letzten Jahren eine gewisse Verlegung von Industrien nach Osten vorgenommen wurde, so geschah dies nur aus militärischen Sicherheitsgründen. Zu erwähnen ist noch, daß auch die organische Eingliederung Polens in den Gesamtaustauschkreis Mitteleuropas versäumt wurde. So ist also festzustellen, daß das Ergebnis auch im Wirtschaftlichen durchaus negativ gewesen ist.

Den Abschluß bildete eine kurze Erörterung vom Militärgeographischen her. Man hat vielfach von der durch die Zusammenfassung des Flußsystems bedingten guten wehrgeographischen Lage Polens gesprochen. Dem steht aber die große Offenheit nach beiden Seiten gegenüber. Außerdem betonte der Vortr., daß zu den physischen Raummomenten die völkische Geschlossenheit kommen müsse. Die gesunde innere Struktur eines Staates ist das Entscheidende, und diese war in dem bisherigen polnischen Staate eben nicht vorhanden.

Die Aufgabe, an der Polen blind vorübergegangen ist, ist nun uns Deutschen zugefallen: diesen Raum wirtschaftlich und kulturell so zu heben, daß er ein wertvolles Glied des europäischen Raumes wird. Dazu kommt die Lösung des ostjüdischen Problems, das von ungeheurer Bedeutung ist, und die Durchführung der Umsiedlung. So erwächst aus aller Zerstörung zugleich eine große europäische Kultur- und Friedensaufgabe.

Auf der Suche nach unbekannten Völkern in Hinterindien — so lautete das Thema, über das Herr A. BERNATZIK, Wien, am 4. November 1939 sprach. Es war ein Bericht über seine große Hinterindien-Expedition, die er in Begleitung seiner Frau 1936/37 durchgeführt hat. Das bereiste Gebiet ist das für die Völkerkunde besonders interessante Zwischengelände zwischen den Hochkulturen von Indien und China, über das zahlreiche Völkerwellen hinweggegangen sind. Der Vortr. hatte sich die Aufgabe gestellt, einen Querschnitt des Völkerbildes zu geben, und begann, von Rangoon ausgehend, mit den *Mokhem*, einem großenteils noch heute nicht verwalteten und aufgenommenen Inselvolke, das in ständiger Flucht vor den Malaien lebt. Ihre einzige Waffe ist der Fischspeer. Die Hauptnahrung bietet das Meer, doch ist auffallend, daß in erster Linie nicht Fische, sondern Muscheln gegessen werden. Die Mokhem sind wahrscheinlich ursprüngliche Landbewohner, die an die Küste abgedrängt sind und als Primitive sich nicht recht haben anpassen können. Rassisch sind es weddive, keine mongoloiden Menschen. Ihre Religion ist ein primitiver Geisterglaube. — Bei der für dieses Volk typischen großen Ängstlichkeit war es nicht zu verwundern, daß die Leute immer mißtrauischer wurden, als man mit psychologischen Untersuchungen begann, und schließlich eines Morgens verschwunden waren.

Dann wurden die asiatischen Negritos kurz gestreift, die in den dortigen großen Orchideen-Urwäldern von der Jagd auf Affen leben. Ihre dabei verwendete Waffe sind lange Blasrohre, mit denen sie stark vergiftete Pfeile schießen.

Eine besonders ausführliche und anschauliche Schilderung widmete der Vortr. dem südchinesischen Volke der *Phi Tong Luang*, das in den dichtesten Urwäldern des nördlichen Siam ein eigentümliches Wanderleben führt. Diese Stämme sind sehr schwer zu finden, so daß an ihrer Existenz überhaupt gezweifelt worden ist, und es gelang den Forschern erst nach wochenlangen Mühen und mit Hilfe eines anderen Bergvolkes, auf ihre Spur zu kommen und schließlich sogar an ihren Wanderungen teilzunehmen. Die Phi

Tong Luang sind das primitivste Volk, das der Vortr. je gefunden hat. Sie durchstreifen in Horden von 4—6 Menschen den Urwald und leben von Wurzeln, die mit Grabstöcken ausgegraben und in Bambusgefäßen zerkocht werden. Alle Geräte, auch die Musikinstrumente — eine Art Xylophon — sind aus Bambus, so daß man von einer Bambus- oder Holzkultur sprechen kann. Eigene Waffen haben sie nicht. Dieses Volk kennt keine Namen, auch keine eigenen Zahlworte. Es herrscht Vaterrecht und Einehe; bemerkenswert ist eine große Fürsorge für die Kindererziehung, doch ist die Kindersterblichkeit außerordentlich stark. So wird dieses eigenartige Volk bald aussterben und bei der geringen Dauerhaftigkeit seiner Bambusgeräte keine Spur hinterlassen.

Um diese Phi Tong Luang (deren Wandertrieb von den äußeren Lebensbedingungen völlig unabhängig ist) zu untersuchen, mußte man unter Zurücklassung alles größeren Gepäcks als Nomade mit den Nomaden ziehen. Die Beobachtungen ergaben, daß es sich bestimmt nicht um Negritos, sondern um ein primitives Mongoloidvolk handelt; die Kinder werden mit dem Mongolenfleck geboren, es fehlt dagegen die Mongolenfalte. Die Denkweise ist sehr primitiv, sogar die Vorstellung von Ursache und Wirkung fehlt, ebensowenig denkt man an Vergangenheit oder Zukunft.

Schließlich wurden noch die hackbauenden, erst spät eingewanderten Bergvölker erforscht, insbesondere die *Meau*, Vertreter eines hochstehenden Mongolenvolkes mit deutlicher Mongolenfalte und festem, zielbewußtem Blick. Die Meau haben in typischer Weise eine Kulturschrumpfung durchgemacht, indem sie den früher betriebenen, in den Bergen aber nicht anwendbaren Pflugbau mit einem primitiven Hackbau vertauscht haben. In monatelanger schwerster Arbeit roden sie den Urwald und legen Reisfelder an, die nur 1—2 Jahre halten. Reismühlen werden betrieben, Schmiedearbeiten, Schußwaffen und Pulver hergestellt, ferner Papier sowie Webstoffe aus hanfartigen Faserpflanzen. Die Meau wohnen in weit voneinander entfernt liegenden Dörfern; die Häuser sind auf den Erdboden gebaute Plankenhäuser.

Bei den Meau herrscht Polygamie. Die Burschen heiraten sehr früh, mit 15—16 Jahren, die Mädchen dagegen erst Anfang 20, weil man annimmt, daß sie dann erst imstande seien, die verlangten 10 Kinder zu gebären. Spiele mit Feder- oder Stoffbällen werden gern geübt. Als Musikinstrumente werden Mundorgel und Maultrommel gebraucht. Die religiösen Vorstellungen zeigen schamanistische Einflüsse, vielleicht auch Spuren früherer Missionierung.

Nachdem die Untersuchungen abgeschlossen waren, trennten sich die Forscher nur schwer, da sie diese Menschen geradezu liebgewonnen hatten. Noch andere Stämme wurden erforscht, darunter als letztes Beispiel die tibeto-birmanischen *Akha*, die in Dörfern mit 300—400 auf Pfählen erbauten Flechtwerkhäusern wohnen. Als Waffe wird die Armbrust mit großem Geschick verwendet. Die Ehesitten zeigen Einschläge von Polyandrie. Der Kinderreichtum ist sehr groß, die Dörfer wimmeln buchstäblich von Kindern. Viele Kinderspiele wurden aufgezeichnet, von denen ein großer Teil den bei uns üblichen gleicht. Die Mädchen und Frauen gehen sehr geschmückt; Tänze und Liebesspiele konnten aufgenommen werden. Alles in allem bot sich das Bild eines heiteren Bergvolkes.

Die Expedition lieferte außerordentlich umfangreiche ethnographische Sammlungen und vermittelte besonders durch das lange Zusammenleben tiefe Einblicke in die seelische Struktur dieser Völker.

Am 20. November 1939 sprach Herr J. Schmithüsen, Bonn, in einem kulturgeographisch orientierten Vortrag über **Die bäuerliche Kulturlandschaft in Luxemburg.** Der Staat Luxemburg schneidet aus zwei natürlichen Großlandschaften Teile heraus: aus dem Rheinischen Schiefergebirge und dem lothringischen Stufenland. Der erste, im Volksmund das „Ösling" genannt, ist Mittelgebirgsland mit nährstoffarmem, sauerem Boden und rauhem Klima. Der zweite Teil, das „Gutland", ist ein scharf vom Schiefergebirge abgesetztes Trias-Jura-Tafelland: Luxemburger Sandstein in der Mitte, daneben zerstückeltes Triasgelände, tonige Gesteine der Lias, endlich die Doggerstufe mit hohen Kalk- und Sandsteinwänden. Das Gutland hat an der Mosel Weinbauklima; die Mitte ist kühler und mäßig beregnet.

Luxemburg, das heute ganz auf deutschen Volksboden beschränkt ist, kann als vorwiegend bäuerlich bezeichnet werden, wenn es auch im äußersten Süden und Südwesten des Gutlands Anteil an dem Eisen des Dogger und der darauf aufgebauten Industrie hat. Dieser industrielle Anteil hat dennoch starke Rückwirkungen auf die Landwirtschaft gehabt, die bis zum Beginn der industriellen Entwicklung vielfach mittelalterliche Züge bewahrt hatte. Die Industrie zog Arbeiter an und verursachte dadurch Einwanderung. Die Landwirtschaft erhielt so zwar einen inneren Markt, litt aber an Arbeitermangel und war dadurch zur Mechanisierung gezwungen. Das Genossenschaftswesen nahm einen großen Aufschwung, weil nur so die Beschaffung von landwirtschaftlichen Maschinen möglich war.

Die heutige Kulturlandschaft zeigt Altes und Neues in mannigfacher Abstufung, oft unausgeglichen nebeneinander. Bestimmend aber ist immer die naturräumliche Gliederung. Das gilt z. B. für die Verteilung von Wald und offenem Land: das Ösling ist spät erschlossen und daher weniger entwaldet als das Gutland. Auch Lage, Größe und Form der Ortschaften sowie die Flurformen sind verschieden; die Dörfer des Öslings liegen in den Quellmulden der Hochflächen, die meist großen, eng gebauten Orte des Gutlandes in den Tälern. Besonders aber klingt die naturlandschaftliche Gliederung in typischen Feldpflanzengemeinschaften durch, indem jedes Naturgebiet Anbau- und Nutzflächen ganz bestimmter Art bietet.

Der Vortr. gab dann an Hand einer Bilderreihe einige Querschnitte durch das Land. Klar zeigte sich überall die Eigenprägung aus dem Volkstum: die Wesensverwandtschaft mit dem Deutschen, dagegen die Fremdheit gegenüber den anderen Nachbarn. Anschaulich wurde der Gegensatz zwischen deutscher und wallonischer Siedlungsart vorgeführt. Das wallonische Dorf weist eine überraschende Regellosigkeit auf sowie geringe Anpassung an die Natur, während das deutsche neben guter Einordnung in das natürliche Landschaftsbild zugleich den Ausdruck der Gemeinschaft verkörpert. In diesen Zügen liegt seine Schönheit, während für das wallonische Dorf schmückende Zutaten, farbiger Anstrich der Häuser u. ä. etwas Wesentliches sind.

Man erkennt somit, wie das lebendige Volkstum allen Äußerungen der Kulturlandschaft das Gepräge gibt. Es sind hier Kräfte wirksam, die aus der gemeinsamen seelischen Grundhaltung des Volkes kommen.

Kurt Kaehne.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.